MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE

www

Nº 174 • Diciembre 1996 • 675 Ptas.

Ciencia española en Internet



UNA GUÍA CON MÁS DE 500 DIRECCIONES

¿El Universo en una probeta?

Sistemas de reparación del DNA

La automatización del cálculo simbólico



SUMARIO Nº 174, DICIEMBRE 1996



1031. Ciencia e Internet en España.
La creciente popularidad de Internet y su cada vez mayor impacto en los centros universitarios y de investigación españoles se han traducido en una importante presencia del sector público de I+D en la red.

1018. Novedades sobre el origen de las especies.
Las bacterias practican una sexualidad primitiva, pero particularmente eficaz, que les permite adaptarse a los ambientes hostiles.





1012. Las puertas de entrada del virus del sida.
¿Cuántos «cofactores» utiliza el VIH para penetrar en el interior de las células?
Desde hace diez años se buscaba uno.
Se acaban de encontrar cuatro.

1088. Convocatorias y becas.
Dedicada a la información de todo aquello concerniente a convocatorias y becas, acompañada de direcciones de interés.





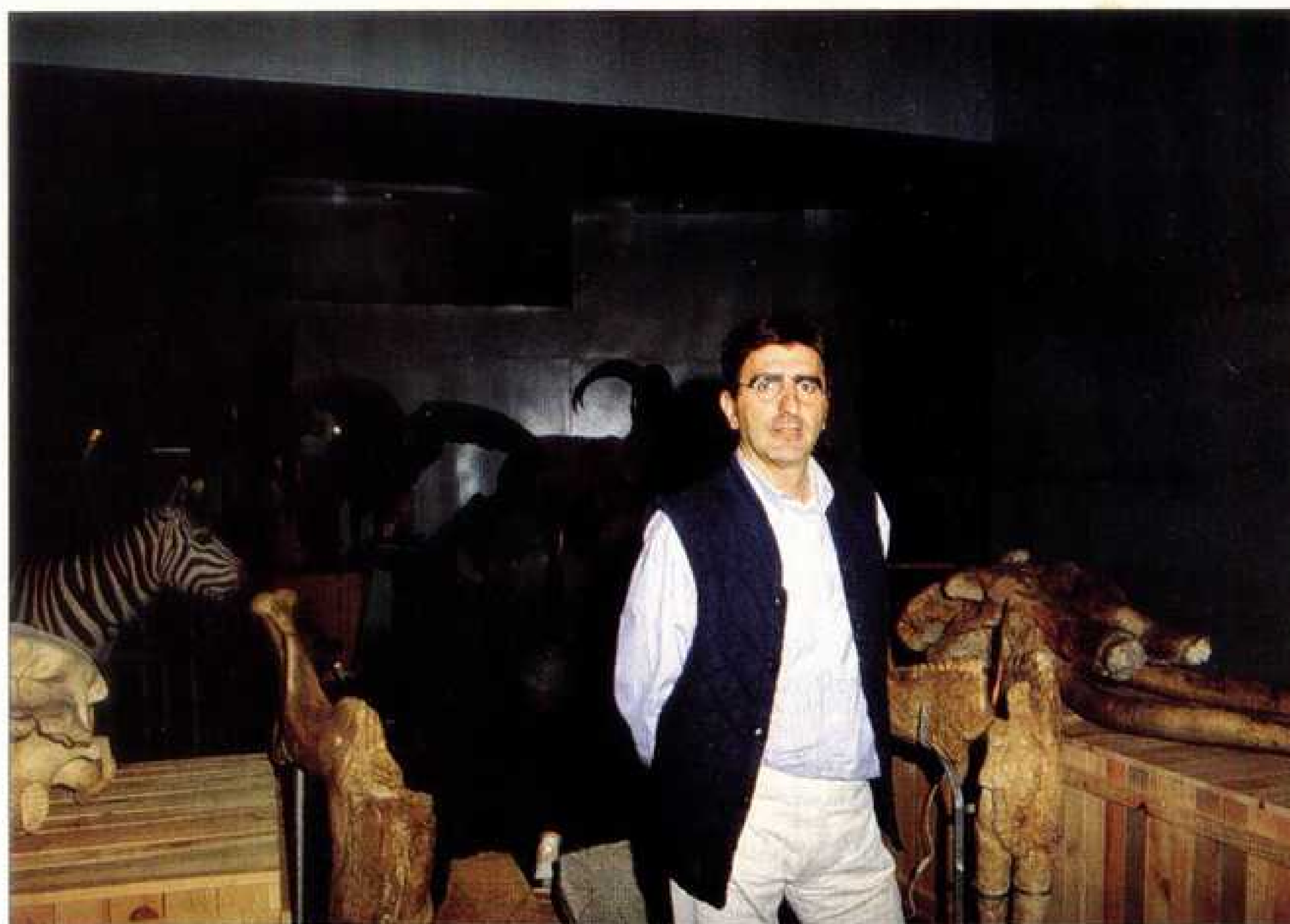
HISTORIA NATURAL: «EL REGRESO»

«El Regreso», la exposición que marca el nuevo camino del Museo de Ciencias Naturales

Con el sugerente título *Historia Natural: El Regreso*, el Museo Nacional de Ciencias Naturales recupera, hasta junio de 1997 al menos, algunas de las colecciones más emblemáticas que guardaba en su abigarrada trastienda, y cuyos fondos se acercan a los cinco millones de ejemplares entre fósiles, minerales, vertebrados e invertebrados.

«"El Regreso" supone —afirma Francisco de Blas, vicedirector de exposiciones— la vuelta de las colecciones al museo como objeto prioritario de exposición. Así creemos cumplir un deseo largamente formulado por casi todos nuestros visitantes, tener acceso a ese patrimonio científico que merece la pena revalorizar y poner al alcance no sólo de los científicos que trabajan con él en sus investigaciones medioambientales, sino también del gran público que así puede llegar a una concienciación mucho más positiva sobre los problemas en particular de nuestra fauna ibérica, que es uno de los programas estrella del museo, pero en general de la fauna de todo el planeta.»

El Museo tiene una riqueza de colecciones difícil de imaginar, que crece día a día, fruto de muchos años de investigación y



Francisco de Blas en la Exposición «El Regreso» del Museo de Ciencias Naturales, octubre, 1996. (Foto Ignacio Bravo.)

sinsabores de generaciones de científicos que han dejado todos sus esfuerzos. Pero exponer estas colecciones, o parte de ellas, de manera que respetando su unidad científica resulten también atractivas al público lego es un verdadero reto de difícil solución, y del que es consciente Francisco de Blas: «Las colecciones están cargadas de contenido y sólo nos falta actualizarlo a los mensajes de hoy, a la percepción de la gente que hoy visita el Museo... Gran parte de estas colecciones es un acervo científico para utilización exclusiva de los científicos en sus planes de investigación y no tendrían ningún interés para el gran público, puesto que son colecciones sumamente especializadas».

Ofrecer una visión global de los contenidos del Museo Nacional de Ciencias Naturales es, por lo tanto, el propósito de «El Regreso» y supone, además, un cambio de orientación en la línea expositiva que rescata las colecciones acercando al público visitante, en la medida de lo posible, la labor investigadora del Museo.

Para más información:
Francisco de Blas.
Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC).
José Gutiérrez Abascal 2.
28006 Madrid.
Tel. (91) 654 60 82.
Fax (91) 654 50 78.

El rey titanio

La evolución de la implantología oral, cuyo XVI Congreso Mundial se celebró en Madrid el mes de octubre, está en parte condicionada por la búsqueda de nuevos materiales. El otro factor de avance es el propio estudio del tejido humano que sufre el implante para sustituir a la raíz dentaria perdida.

Al cromo-cobalto-molibdeno lo destronó el titanio, que se emplea masivamente desde mediados de los años 1970. Y hasta la fecha el titanio sigue siendo el rey, el material que reúne las mejores características de biocompatibilidad, resistencia y precio. Aunque no es perfecto y el cuerpo humano, ese gran corrosivo de materiales, lo puede terminar por rechazar en 25 o 30 años.

XVI CONGRESO MUNDIAL DE IMPLANTOLOGIA ORAL
Los avances en la implantología hacia el siglo XXI
WORLD CONGRESS OF ORAL IMPLANTOLOGY XVI
Implants advance into the 21st century



Hotel Meliá-Castilla / *Meliá-Castilla Hotel*
Madrid (ESPAÑA) / *Madrid (SPAIN*
17-20 de octubre de 1996 / *October 17-20*

PROGRAMA DEFINITIVO

Por supuesto, continúan las investigaciones probando nuevos materiales (cerámicos, alúmina, incluso sobre corales trabajaron en Japón, etc.) en busca del material biocompatible perfecto, sin respuesta de rechazo, si es que existe.

No obstante, «el implante dura toda la vida si uno se muere a tiempo» concluyó distendido el Dr. Salagaray, presidente de la Sociedad Española de Implantes, y pionero hace 45 años de estas técnicas en España, país, afirmó «que se incorporó con rapidez a la implantología oral».

Para más información:
Sociedad Española de Implantes.
Villanueva 11. 28001 Madrid.
Tel. (91) 319 16 37.
Fax (91) 319 23 28.

Y el pájaro pudo aterrizar...

Un fósil de pájaro notablemente conservado, de una edad de 115 millones de años, acaba de ser descubierto en España, en el emplazamiento de Las Hoyas. Bautizado *Eoalulavis hoyasi*, tiene el tamaño de un jilguero y tiene la más antigua álula que se conoce (J.L. Sanz *et al.*, *Nature*, *382*, 442, 1996). Constituida por una serie de plumitas fijadas en el extremo del ala principal, esta «ala bastarda» hace posible un vuelo sofisticado.

A diferencia de su antepasado el *Archaeopteryx*, que sólo habría sido un pesado planeador, *Eoalulavis* podía reducir su velocidad de vuelo y realizar maniobras delicadas como el aterrizaje sobre la rama de un árbol.

El álula corrige el ángulo de ataque del ala, de modo que disminuyen las turbulencias por encima de la misma.

De este modo, el pájaro puede volar a velocidad lenta manteniendo su altura. Este descubrimiento es importante, ya que los muy escasos fósiles clasificados entre *Archaeopteryx* y las aves actuales proporcionaban muy poca información sobre la evolución del vuelo.

El estudio detallado del fósil recientemente descubierto pone de manifiesto que al final del Cretáceo Inferior ya existían la mayoría de las adaptaciones necesarias para un perfecto control del aire. Mucho antes de lo que se creía.

Informe COTEC para el debate I+D

Elaborado por la Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, el Informe COTEC 1996 sobre la situación de la tecnología y la innovación en España recoge, desde la perspectiva empresarial, el estado del Sistema Ciencia-Tecnología a través de los indicadores más significativos, y en algunos casos todavía inmaduros, enmarcándola dentro de Europa, una Europa que lucha por aumentar su agresividad en I+D (Investigación y Desarrollo Tecnológico) para no perder el tren de la innovación en un mundo cada día más competitivo.
El Informe admite sus limitaciones: «No pretende ser un diagnóstico de las causas de la situación, ni tampoco ofrecer recomendaciones... El objetivo último de este Informe es propiciar el debate del que nacerán análisis y posibles caminos para que la actitud innovadora sea en España más frecuente y más generadora de riqueza».
El primer capítulo agrupa los indicadores que pueden orientar sobre la influencia de la tecnología y la innovación en la competitividad de nuestro país. En el segundo se trata de identificar aquellos aspectos que caracterizan la actitud de la sociedad española ante la tecnología y la innovación. Los restantes capítulos recogen indicadores más convencionales sobre el esfuerzo empresarial y de las Administraciones para fomentar la innovación tecnológica.
Sin embargo, y el Informe COTEC así lo admite y lanza el desafío, «no se dispone en estos momentos de ningún indicador relacionado directamente con la función del empresario-innovador en el Sistema Ciencia-Tecnología-Empresa».
Un indicador que orientaría sobre el camino a seguir para facilitar la innovación en la empresa.
Por su contenido el Informe COTEC se ha ganado un lugar dentro de la bibliografía sobre la I+D.
Ha identificado un protagonista, la empresa innovadora, que seguía marginada, y la ha puesto en su sitio sin triunfalismos, pero haciendo ver su papel de coprotagonista en el Sistema Ciencia-Tecnología.

Para más informarción:
Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica.
Marqués de Urquijo 26, 1º.
28008 Madrid.
Tel. (91) 542 01 86.
Fax (91) 559 36 74.

Nueva publicación del CSN

Seguridad Nuclear es la nueva revista trimestral del Consejo de Seguridad Nuclear, CSN, organismo sobre el que recae la grave responsabilidad de la evaluación y control de la seguridad nuclear y la protección radiológica, siendo sus dictámenes preceptivos y vinculantes.
El CSN —ente de Derecho Público independiente de la Administración del Estado— informa al Congreso de los Diputados y al Senado en una publicación semestral de las incidencias y novedades habidas en el funcionamiento de las centrales nucleares, instalaciones radiactivas, transporte y almacenamiento de residuos, etc. También editan guías de seguridad, folletos divulgativos y otras publicaciones a las que ahora hay que sumar la revista trimestral *Seguridad Nuclear* cuyo objetivo, afirma el editorial, «será servir de soporte de las ideas de expertos españoles y extranjeros sobre temas relacionados con la seguridad nuclear y reflejar la situación nacional e internacional de los ámbitos que son competencia del CSN».
El primer número de la revista, correspondiente al IV trimestre de 1996, contiene cuatro artículos relacionados con las centrales nucleares: su vida útil, robótica nuclear, sustitución de generadores de vapor, y combustible nuclear. Artículos, aunque técnicos, divulgativos y comprensibles (que sea siempre así) para cualquier lector interesado en la problemática de la energía nuclear.
Una energía sometida, en gran medida, a perniciosos tópicos que la han perjudicado quizá de forma irreversible, en parte por el silencio irresponsable de empresas e instituciones que no atendían a los requerimientos informativos sembrando así la duda y la lógica desconfianza. El CSN consciente del derecho que tiene la opinión pública a saber quiere hacerse cada día más transparente. Sus publicaciones, informes y la revista *Seguridad Nuclear* pueden ser un buen ejemplo.

Revista del CSN / Año I / Número 1
IV Trimestre 1996
Seguridad Nuclear

Gestión de vida remanente en centrales nucleares
Presente y futuro de la robótica nuclear
Sustitución de generadores de vapor
Combustible nuclear de alto grado de quemado
La educación científica y los nuevos museos interactivos

Para más información:
Consejo de Seguridad Nuclear.
Justo Dorado 11.
28040 Madrid.
Tel. (91) 346 03 11.
Fax (91) 346 06 68.

¿Después del BCG, la inyección de DNA?

Utilizado desde hace más de 70 años, el BCG (Bacilo de Calmette-Guérin) es una vacuna contra la tuberculosis de una eficacia discutida. ¿Tomará el relevo la inyección de DNA? La idea acaba de recibir el refuerzo de dos estudios realizados en el ratón (R.E. Tascon *et al.*, *Nature Medicine, 2*, 888, 1996; K. Huygen *et al.*, *ibid.*, 893). El método consiste en introducir en el organismo el gen que codifica para una proteína de *Mycobacterium tuberculosis*, el agente infeccioso. Integrado en un plásmido (un fragmento de DNA bacteriano circular), se inyecta este gen a un músculo de ratón. Al comienzo del gen se ha colocado una secuencia genética particular para permitir su actividad. La proteína es producida de forma duradera en las células musculares, y es reconocida como extraña por el sistema inmunitario (véase «¿Una revolución? La vacunación por DNA», *Mundo Científico*, nº 159, julio-agosto, 1995). Produce una protección contra el bacilo tuberculoso tan eficaz como la inyección de BCG.
Un interés suplementario: la técnica no tendría que resultar peligrosa para las personas infectadas por el virus del sida, ya que no se inyectan organismos vivos.
Para una mayor seguridad, los investigadores estudian atentamente los riesgos de que el gen bacteriano se integre en el patrimonio genético del huésped. «Tales casos no se han observado nunca. Ahora, con una perspectiva de cinco años en los ratones, podemos decir que el riesgo es realmente ínfimo. Y acabamos de empezar pruebas con conejos y cobayas», declara Kris Huygen, del Instituto Pasteur de Bruselas.
Su equipo proyecta asociar varios genes de proteínas bacterianas para lograr una mejor inmunización.
En cuanto al equipo de R. Tascon, del National Institute for Medical Research, en Londres, podría empezar las pruebas clínicas dentro de dos años.
(Foto Cosmos.)

¿Un virus responsable de la depresión?

Conocido por provocar trastornos del comportamiento en varias especies animales, el virus Borna se ha encontrado recientemente en la sangre de una elevada proporción de pacientes gravemente depresivos.

A finales de agosto, tuvo lugar en Madrid un gran congreso que reunió a unos 10.000 psiquiatras. Por los pasillos circulaba un rumor: ¿y si un virus, llamado de la enfermedad de Borna (VEB), fuese uno de los factores responsables de trastornos graves del humor, incluida la psicosis maniacodepresiva? Hasta ahora, esta patología mental se había asociado a diversos factores: predisposición genética, estrés, consumo de sustancias farmacológicas, hormonas e infecciones diversas. En cuanto al virus de Borna, se creía que era raro, y que infectaba principalmente a animales (caballos, ovejas, gatos, etc.). De otra parte, estudios en animales habían demostrado que este virus puede interferir con los neurotransmisores, provocando así alteraciones comportamentales. La situación empezó a cambiar hace dos años, cuando investigadores del Instituto Robert Koch y de la Universidad Libre de Berlín identificaron la presencia del VEB en el 40 % de los pacientes hospitalizados por una grave depresión recurrente (L. Bode *et al.*, Lancet, 343, 297, 1994). «Únicamente hemos encontrado las proteínas virales cuando los pacientes estaban en una fase activa de la enfermedad», ha declarado Liv Bode, del Instituto Robert Koch.
En estudios anteriores, los investigadores habían descubierto anticuerpos antiVEB en el 2 % de la población general. Según L. Bode, esto significa que el virus está en un estado latente «esperando unas condiciones favorables para reactivarse», condiciones que podrían ser las clásicamente asociadas a la depresión. El año pasado, Bode y sus colegas identificaron por primera vez trazas del material genético del virus (RNA) en los glóbulos blancos de enfermos (L. Bode *et al.*, *Nature Medicine*, *1*, 202, 1995). Posteriormente, científicos japoneses han publicado unos resultados similares (M. Kishi *et al.*, *J. Virol.*, *70*, 635, 1996). Finalmente, cultivando sangre que contenía RNA del virus de Borna (extraída de tres pacientes hospitalizados) con células de cerebro humano, el equipo alemán ha obtenido un virus completo, susceptible de replicarse activamente (L. Bode *et al.*, *Molecular Psychiatry*, *1*, 200, 1996). En los pasillos del congreso madrileño se comentaban estos resultados, publicados en julio. Según los autores, confirman «la existencia de una nueva infección viral humana que amenaza a la salud mental». En efecto, cuando los investigadores han inyectado el virus humano a conejos, los animales han manifestado trastornos del comportamiento (falta de limpieza, apatía pronunciada, etc.). «Ahora que podemos cultivar el virus humano, podemos probar diferentes componentes antivirales para encontrar un tratamiento. Y si este tratamiento lograse bloquear la actividad viral, podríamos determinar la influencia del virus Borna en la depresión grave».



Genética y amor maternal

Una mutación del gen *fosB* provoca un comportamiento totalmente sorprendente en la ratona: ésta se desentiende completamente de su progenitura hasta el punto de dejarla morir. El producto de *fosB* es un factor de transcripción, es decir una proteína que activa o inhibe la expresión de otros genes. Para estudiar la función de este gen en el sistema nervioso central, Jennifer Brown, de la Escuela de Medicina de Harvard, había iniciado la creación de una línea de ratones en los que *fosB* es inactivo (*Cell*, *86*, 297, 1996). Pero constató que de cada camada sobrevivían muy pocos jóvenes, nacidos no obstante con buena salud. Al observar más atentamente a estos animales, se dio cuenta que había desaparecido todo comportamiento maternal: la madre no agrupa a sus pequeños cerca de ella, ni los busca si se sacan de la jaula. Un estudio más sistemático no revela ningún defecto aparente, ni hormonal, ni en el desarrollo, ni en la fisiología de la reproducción. Otros trabajos ya habían demostrado que los genes de la familia *fos* son activos en el cerebro y podrían estar implicados en el comportamiento. En este caso, parece que la actitud de los ratones mutantes se debe a la ausencia del producto de *fosB* en las neuronas del área preóptica, una región del hipotálamo que se sabe que desempeña un papel en el comportamiento maternal instintivo. Aunque las interacciones complejas que están en la base del comportamiento maternal todavía están por determinar, se tiene aquí una evidencia directa de su componente genética.
(Foto Franco/Bonnard/Bios.)

Trenzas para los físicos
La teoría matemática de las trenzas —sí, los hilos que se cruzan y entrecruzan— acaba de encontrar una aplicación inesperada: el análisis de movimientos complejos. Físicos polacos y noruegos la han utilizado para describir y clasificar las trayectorias más o menos periódicas que siguen bolitas sumergidas en una delgada capa de líquido magnético, sometida a su vez a un campo magnético giratorio (P. Pieranski et al., *Phys. Rev. Lett., 77, 1.620, 1996). En efecto, en un diagrama espacio-tiempo se puede considerar que cada partícula describe un hilo, cuyo conjunto forma una trenza.*

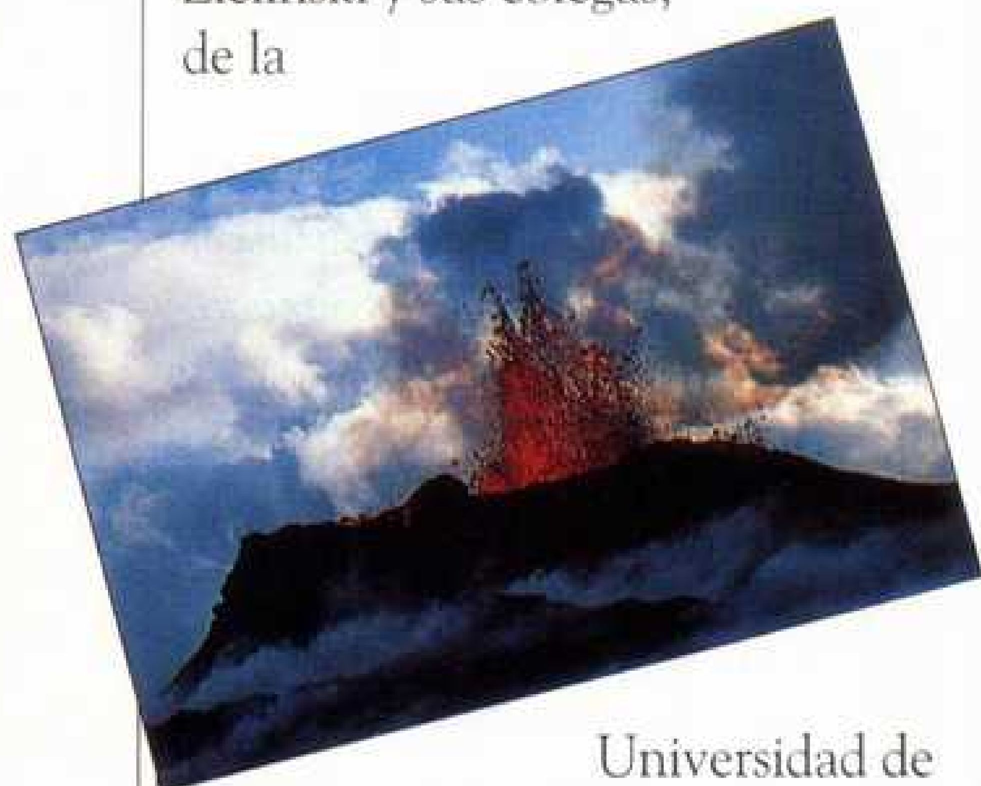
Una proteína contra la obesidad
Investigadores de la Universidad de Washington han demostrado que, en el tejido adiposo de los ratones, la hiperactividad de la proteína quinasa A (un enzima clave de las comunicaciones celulares) provoca una disminución de la masa de este tejido (D. Cummings et al., *Nature, 282, 622, 1996). Los ratones son más esbeltos y se mantienen así pese a un régimen hipercalórico. Una pista para luchar contra la obesidad en el hombre.*

Estrellas ovales
Mario Lattanzi, del Observatorio de Turín, acaba de observar dos estrellas muy evolucionadas a través del telescopio espacial Hubble. R. Leonis mide 1.500 millones de kilómetros según un eje (10 veces la distancia Tierra-Sol) y 1.300 según el otro. Con W. Hydrae se obtienen unos resultados similares. Por lo tanto, ¡estas estrellas serían ovales! Ya se sabía que las estrellas del tipo Mira Ceti se hinchan y se deshinchan, con un radio que puede variar en un 20 %. Pero, ¿por qué R. Leonis y W. Hydrae tienen pulsaciones asimétricas?

Estrógenos contra Alzheimer
Según un estudio norteamericano, realizado durante cinco años en más de mil mujeres, tomar estrógenos después de la menopausia disminuye el riesgo de enfermedad de Alzheimer (5,8 % frente a 16,3 %) y retrasa la edad de su aparición (M.-X. Tang et al., *Lancet, 348, 429, 1996).*

¿Un efecto del clima sobre el volcanismo?

Se sabe que las erupciones volcánicas pueden afectar de manera importante al clima, como lo demostró la erupción del Pinatubo en 1991. Recíprocamente, el clima también podría influir en el volcanismo, según un estudio de Gregory Zielinski y sus colegas, de la



Universidad de New Hamshire en Estados Unidos (G. Zielinski *et al., Quaternary Research, 45*, 109, 1996).
Estos investigadores han trabajado a partir de un testigo de perforación glaciar, GISP 2: extraído en el centro de Groenlandia, refleja el clima de los 110.000 últimos años. Han analizado en él las variaciones de la concentración de iones sulfato, producidos fundamentalmente por el volcanismo. A lo largo de los 110.000 años del testigo, han encontrado 838 muestras parciales en las que los sulfatos superan las 40 partes por mil millones: este nivel es el que corresponde, por ejemplo, a la erupción del Kracatoa en 1883, la más importante de los últimos 2.000 años. El periodo entre 17.000 y 6.000 BP (BP: «antes de 1950») manifiesta la actividad volcánica más intensa, y las «señales volcánicas más fuertes» se concentran entre 15.000 y 8.000, a finales del periodo de desglaciación después del último máximo glacial de 18.000 BP. Esta correlación hace creíble la hipótesis según la cual los cambios climáticos podrían provocar una recrudescencia de la actividad volcánica. Los autores proponen el siguiente mecanismo: el hielo, al acumularse, ejerce un peso cada vez mayor sobre la corteza terrestre; durante la desglaciación, el rápido aligeramiento debido a la fusión de los hielos «reanima» a la corteza. Estos movimientos del hielo modificarían la presión de la cámara magmática de los volcanes, induciendo erupciones. (Foto Krafft/Hoaqui.)

Un hígado reconstruido por terapia genética

Investigadores de la Universidad Laval de Quebec y de la Oregon Health Sciences University de Portland han logrado regenerar por terapia genética un hígado de ratón en el que previamente habían inducido una deficiencia de fumarilacetoacetato hidrolasa (FAH) (K. Overturf *et al., Nature Genetics, 12*, 266, 1996; M. Saint-Louis y R. Tanguay, *Human Mutations*, en prensa).
La deficiencia de FAH es la responsable en el hombre de una grave enfermedad del hígado, la tirosinemia, particularmente frecuente en Quebec, sobre todo en la región de Saguenay-Lac-Saint-Jean en la que la incidencia es la más elevada del mundo con un caso por cada 1.846 naçimientos. La tirosinemia provoca problemas de hígado y riñones desde el nacimiento y degenera rápidamente en un cáncer. Los investigadores han inducido la enfermedad en los ratones, provocando una mutación del gen que codifica para la FAH, descubierto en 1991. A continuación han extraído células del hígado de estos ratones y han insertado en un millar de ellas el gen normal antes de reimplantarlas. El resultado es que las células modificadas se multiplican más deprisa que las células deficientes y llegan a reconstruir un hígado completo y funcional. Esta técnica permite entrever una alternativa al trasplante de hígado como tratamiento de las personas afectadas de tirosinemia.

La nebulosa NGC604

Fotografía tomada por el telescopio espacial Hubble el pasado 17 de enero (los colores son artificiales). Ya localizada a partir de observaciones desde tierra, NGC604 está situada en uno de los brazos de la gran galaxia espiral del Triángulo (distante 2,7 millones de años luz). Se trata de un lugar rico en gas y en estrellas jóvenes (unas 200). Su estudio nos tendría que proporcionar información sobre la formación estelar y su influencia en el medio interestelar.



(Foto H. Yang J. Hester NASA.)

Colibacilo asesino

Más de 9.500 personas contaminadas este año en Japón y una decena de muertes, éste es el balance de los estragos de *Escherichia coli* 0157:H7. La ciudad de Sakai ha resultado particularmente afectada. Desde su identificación en 1982, este bacilo, que está muy lejos de ser un desconocido, es el responsable de numerosas intoxicaciones alimentarias y, según la OMS, de no menos de 55 muertos en Estados Unidos, Canadá, Japón, etc.
El 0157:H7 es primo-hermano de los *Escherichia coli* de nuestra flora intestinal normal. Debido a una cohabitación con bacterias patógenas en el intestino grueso, como las shigellas, el inofensivo *Escherichia coli* habría adquirido genes de virulencia originando la cepa 0157:H7. Los bacilos de este tipo liberan una toxina muy parecida a la producida por algunas shigellas: la verotoxina, que bloquea la síntesis de las proteínas. Las células del tubo digestivo resultan particularmente sensibles, ya que se renuevan muy rápidamente. Privadas de proteínas, mueren. Aparecen necrosis, desangramientos, que se traducen en diarreas sanguinolentas y horribles dolores intestinales. Los glóbulos rojos estallan y el exceso de hemoglobina liberada bloquea el riñón.
Para multiplicarse, las bacterias necesitan fijarse a las paredes del tubo digestivo. Una maniobra que hacen difícil los bordes en cepillo de la mucosa intestinal. Pero 0157:H7 dispone de un arma suplementaria: un gen que ordenaría a las células del epitelio intestinal que se aplanasen.
La investigación actual intenta elucidar este diálogo entre bacteria y célula.

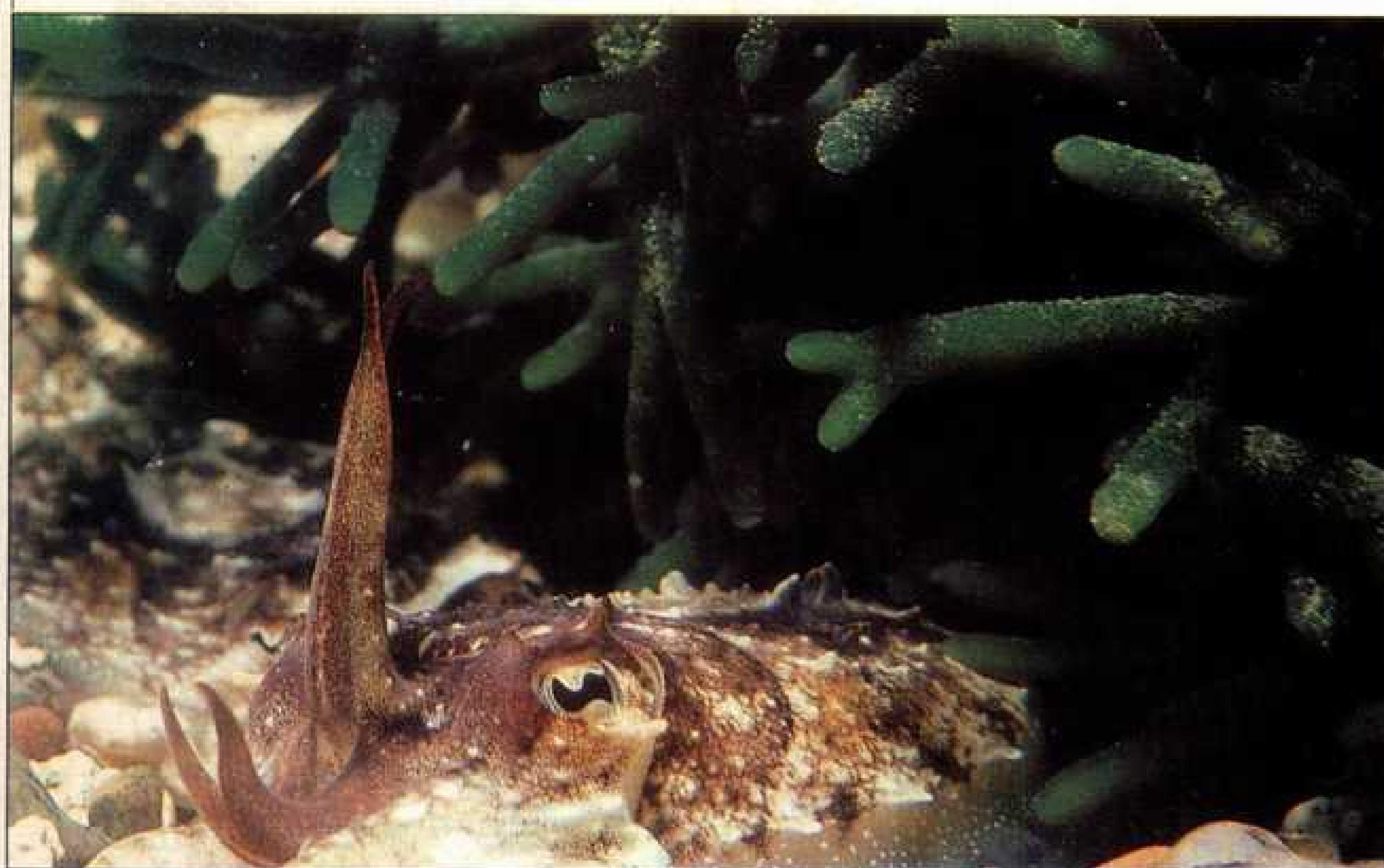
El último de los primos

Se ha calculado una vez más el mayor número primo de todos los tiempos. Incluso los más hartos apreciarán el éxito: el recién nacido comprende 378.632 cifras, con lo que bate aplastantemente a las 258.716 de su predecesor de 1994. Como aquél, se trata de un número de Mersenne, es decir es igual a dos elevado a una potencia menos uno. En este caso, 2 elevado a 1.257.787 menos 1. Es el 34º número de Mersenne primo descubierto. Como algunos otros, lo ha encontrado el dúo David Slowinski-Paul Gage. El primero de ellos practica este deporte desde hace unos veinte años en Cray y trabaja en tándem con el segundo desde 1992. Se han necesitado seis horas de cálculo para demostrar que este número es primo con un solo procesador de un superordenador Cray T94. Este tipo de programa le sirve de prueba al fabricante, por lo que proporciona una cantidad no desdeñable de tiempo de cálculo gratuito para este tipo de investigación. Seis horas puede parecer poco, pero sólo es el tiempo que se ha necesitado para aplicar el «test de Lucas-Lehmer» al candidato que ha resultado ser primo. Con otros candidatos menos afortunados se han gastado miles de horas de cálculo.

Para más información:
www.utm.edu/research/primes.

www

Sepia engañadora



Gracias al control nervioso de algunas células de su piel (los cromatóforos) que contienen gránulos amarillos, anaranjados y pardos, las sepias se revelan unas maestras del camuflaje. Sin embargo, como sólo poseen un pigmento visual, estos animales marinos no distinguen los colores. ¿Cómo pueden percibir los matices medioambientales y adaptar juiciosamente a ellos el aspecto de su cuerpo? Dos investigadores ingleses, N.J. Marshall y J.B. Messenger, han observado el comportamiento de varios individuos colocados sobre fondos de grava de diferentes colores: *Sepia officialis* sólo percibe las variaciones de intensidad luminosa (*Nature, 382*, 409, 1996). Así, cuando se desplaza de un fondo uniforme a un fondo con más contrastes, su piel se cubre de dibujos. En cambio, no distingue entre colores diferentes, pero de la misma intensidad: ¡tanto sobre grava amarilla como sobre azul se pone casi el mismo traje! (Foto Heuclin/Bios.)

Autorreplicación de péptidos

En su investigación de mecanismos que permitan comprender la aparición de la vida en la Tierra, hace una decena de años que los químicos saben multiplicar fragmentos de ácidos nucleicos por autorreplicación. Un equipo del Instituto de Investigación Scripps, en California, ha demostrado hace poco que algunos péptidos (encadenamientos formados por un número restringido de aminoácidos) también pueden catalizar su propia formación (D.H. Lee *et al., Nature, 382*, 525, 1996). En los experimentos de autorreplicación, una molécula A-B (el modelo) «reconoce» los elementos A y B que la componen. Éstos se colocan así en posición para formar un enlace químico estable entre ellos. Se obtiene una molécula idéntica a la original, que cataliza a su vez la formación de otros modelos. En el caso de los péptidos, el reconocimiento del modelo y de los fragmentos A y B depende de la secuencia y de la estructura tridimensional de los péptidos. Este reconocimiento es mucho menos preciso que el de los ácidos nucleicos, basado en la complementariedad de los pares de bases, de tipo Watson-Crick. El modelo de péptido elegido es una superhélice alfa de 32 aminoácidos, una de cuyas caras es hidrófoba. Es sobre esta cara que se produce el reconocimiento entre los dos fragmentos (compuestos respectivamente por 15 y 17 aminoácidos) y la molécula modelo. La velocidad inicial de la reacción aumenta con la concentración inicial del modelo, por lo tanto es éste el que cataliza la reacción. Este resultado demuestra la posibilidad de la autorreplicación de péptidos. Falta extenderlo a otras estructuras que se encuentran frecuentemente en las proteínas y, lo que sería mucho más interesante para explicar la aparición de la vida, a la autorreplicación de los lugares activos de enzimas.

Un holograma para átomos

A la manera de los fotones de la luz, los átomos poseen propiedades ondulatorias. Desde hace unos años, se logra ponerlas de manifiesto y fabricar dispositivos que los manipulan (véase «La óptica atómica» en *Mundo Científico*, nº 130, diciembre, 1992). La última realización en fecha proviene de un equipo japonés: un holograma (J. Fujita et *al., Nature*, 380, 691, 1996; M. Morinaga *et al., Phys. Rev. Lett., 77*, 802, 1996). Se trata de un minúsculo cuadrado (0,5 mm^2) de un filme de nitruro de carbono que contiene 1.024 × 1.024 celdas, también cuadradas. Algunas de estas celdas se han perforado siguiendo las indicaciones de un cálculo previo. Etapa siguiente: se manda sobre el holograma un haz de átomos de neón, previamente enfriados y frenados (para que no tengan una longitud de onda demasiado pequeña). Las ondas atómicas emergen a través de los agujeros de la estructura e interfieren como lo harían ondas luminosas. ¿Qué registra el detector colocado un poco más lejos? Los impactos de los átomos dibujan un motivo compuesto por un cuadrado... y las tres letras NEC, es decir, ¡el nombre de la empresa a la que pertenecen una parte de los investigadores del equipo! Este experimento ilustra el principio de la holografía atómica puesto a punto por estos físicos: según la imagen que se desea, el ordenador realiza el cálculo que determina la distribución de los agujeros que hay que perforar en el cuadrado de nitruro de carbono. Estas estructuras perforadas constituyen de hecho hologramas simplificados y aproximados; a diferencia de los verdaderos hologramas, estos dispositivos sólo son bidimensionales y la transparencia a los átomos sólo se puede modular de forma binaria (opacotransparente). No obstante, esta holografía atómica es susceptible de manipular átomos con una resolución que alcanza la decena de nanómetros.

Infidelidad cancerígena

La presencia del virus del papiloma humano en el pene de un hombre multiplica por cinco el riesgo de cáncer de cuello de útero en su compañera regular. Es lo que acaban de demostrar dos estudios realizados en España y en Colombia por el Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer, con sede en Lyon. Además, un comportamiento masculino voluble aumenta la probabilidad de encontrar el virus en la parte más íntima del hombre (F.X. Bosch et al., Journal of the National Cancer Institute, 88, *1.060, 1996; N. Muñoz* et al., ibid, *1.068).*

Calentar con antiprotones

Muchos físicos estudian el comportamiento de la materia nuclear a temperaturas elevadas. Un equipo europeo acaba de ensayar en el CERN, en Ginebra, un nuevo método de calentar núcleos atómicos: bombardearlos con un haz de antiprotones (F. Goldenbaum et al., Phys. Rev. Lett., 77, *1.230, 1960). Un antiprotón que llega a un núcleo se aniquila con uno de sus nucleones, lo que produce energía y calienta el blanco. Ventaja respecto al bombardeo con iones: se reduce la fracción de la energía transformada inútilmente en rotación, deformación y compresión.*

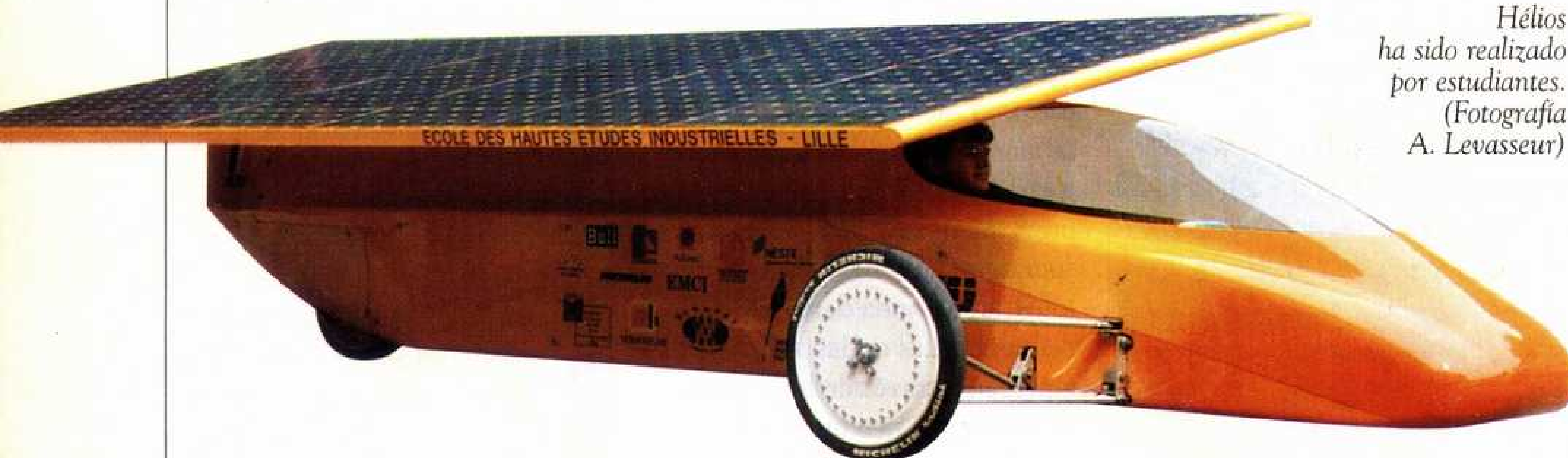
Júpiter, ¿engullidor de cometas?

¿Ha sido el planeta Júpiter blanco de otros cometas antes de su colisión con Shoemaker-Levy 9, en julio de 1994? Un investigador norteamericano se ha sumergido en los archivos y ha rastreado varios centenares de actas antiguas (T.A. Hockey, Planet. Space Sci., 44, 559, *1996). Resultado: cuatro observaciones de manchas sospechosas, en 1686 (G. Cassini), 1778 (W. Herschel), 1834 (G. Airy) y 1835 (J. Chacarnac), podrían corresponder a impactos de cometas. Pero, ¿cómo estar seguro?*

CARRERA MUNDIAL DE COCHES SOLARES

Cada tres años, Australia acoge la carrera mundial de coches solares. Honda y General Motors participaron.

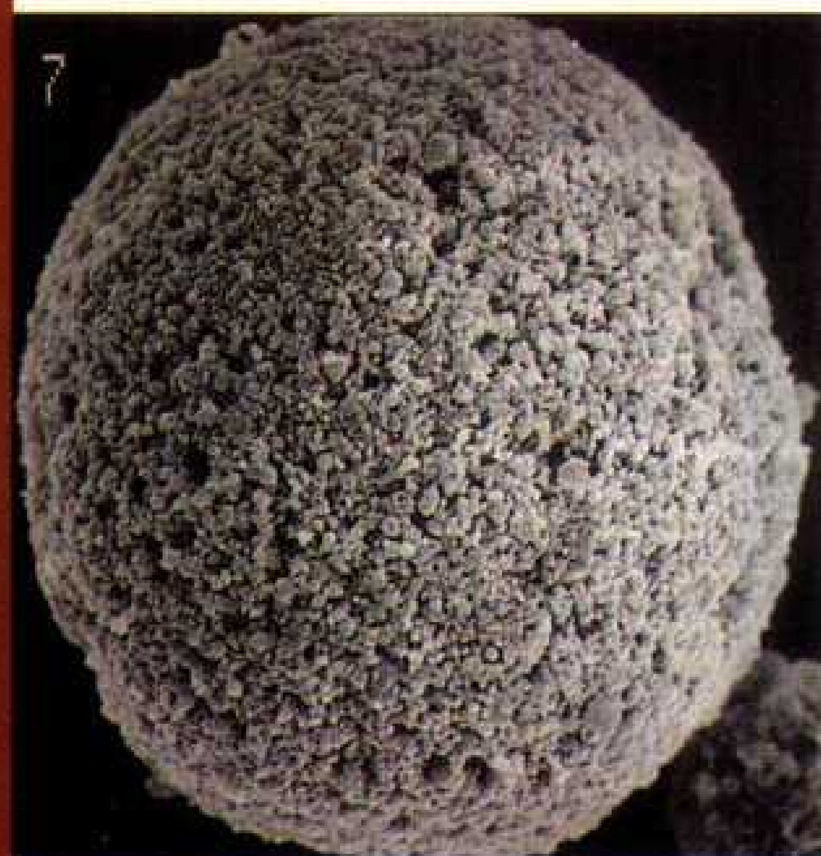
Por primera vez dos equipos franceses participaron en la mayor carrera de coches solares del mundo, la World Solar Challenge, que se inició en Darwin el 27 de octubre. Los participantes debían atravesar Australia de norte a sur (3.000 km), sin utilizar otra forma de energía que la solar.
Las baterías se deben recargan durante el periodo de luz.
Las asociaciones France for World Solar Challenge, con base en Pessac (Gironde) y Hélios, de la Escuela de Altos Estudios Industriales (HEI) de Lille, se prepararon durante tres años para competir con los sesenta participantes. Un programa de diseño asistido por ordenador ha permitido, a los dos vehículos, determinar su forma, respondiendo a las exigencias de potencia y de ligereza. Para Hélios, las elecciones técnicas han sido guiadas por las ofertas de los colaboradores industriales que han donado la mayor parte de las piezas —manera de reducir el coste total, evaluado en dos millones de francos—. Hélios está provisto de un panel solar inclinable, de 8 m², compuesto por células solares de silicio monocristalino capaz de convertir un 15 % de la energía solar recibida en electricidad, proporcionando 1.200 W al motor alterno trifásico. La energía se almacena en baterías de níquel-cadmio, sumando 2,6 kWh. La carrocería mezcla fibras de carbono, por su rigidez, y kevlar, una fibra textil, por su resistencia a los choques. Pesa 9,5 kg, una minucia en comparación con el peso total del vehículo, 227 kg. Tras los ensayos estivales, Hélios ha alcanzado los 130 km/h a una media de 60 km/h durante 9 horas. Aún está lejos del nivel conseguido por el último vencedor de la prueba, Honda: 85 km/h, pero lo importante es participar. ■

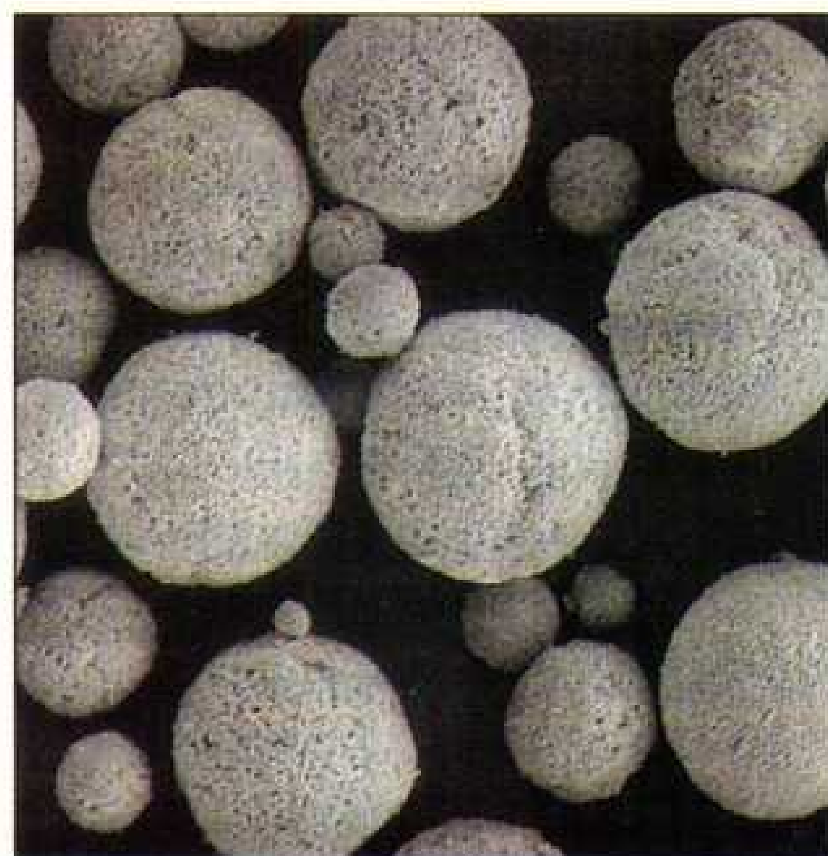
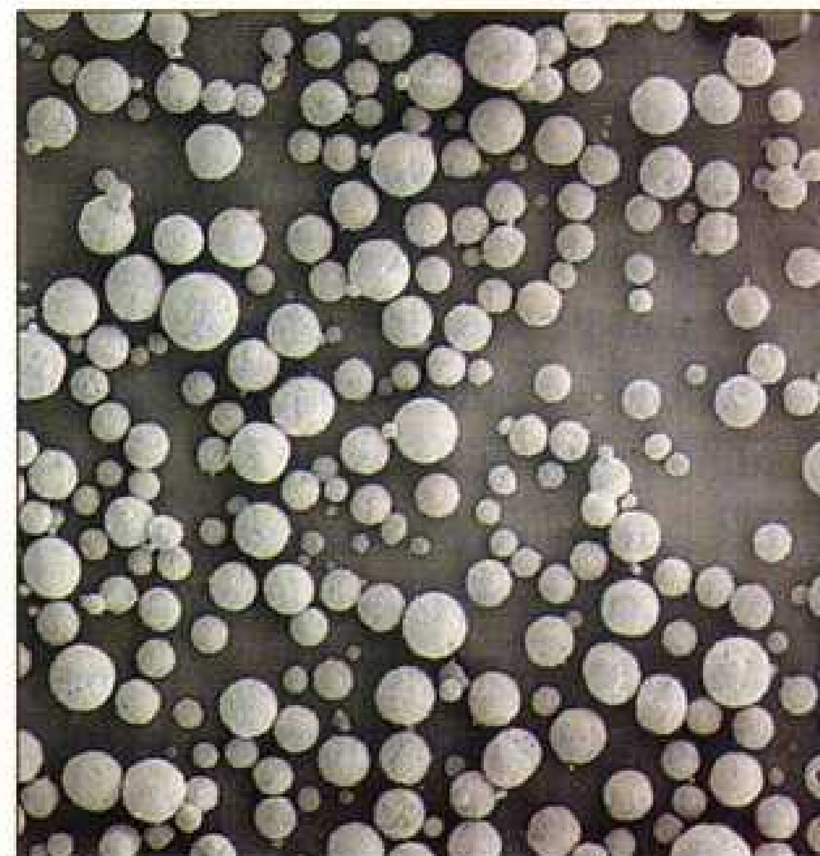


Hélios ha sido realizado por estudiantes. (Fotografía A. Levasseur)

UN POLVO RESISTENTE A 1.200 °C

Un departamento del Comisariado para la Energía Atómica ha puesto a punto un polvo de protección térmica, el Zircyt 7 (circonio itriado al 7 %), de propiedades particularmente interesantes: es resistente hasta una temperatura de 1.200 °C y presenta una dureza y una resistencia a la corrosión muy superiores a las de los revestimientos clásicos. La novedad del Zircyt 7 respecto a la de los otros circonados itriados (mezclas de óxido de circonio y óxido de itrio) es el modo de fabricación: éste se elabora por atomización (proceso utilizado para las lejías y la leche en polvo) y no por sinterización a alta temperatura o fusión-trituración. Actualmente, el polvo (unos centeneras de kilos por año) se fabrica en el Centro de Estudios y de Investigación de los Materiales (CEREM), situado en Grenoble, que lo ha puesto a punto en colaboración con Baïkowski Chimie, una PME situada en Annecy. El mercado principal es el aeronáutico. El Zircyt 7 se utiliza en las partes calientes del motor PW100 de los aviones *F-16* y *F-15* de las Fuerzas Aéreas norteamericanas, que lo han homologado para la parte de postcombustión. La homologación para la cámara de combustión, propiamente dicha, está en curso. El Zircyt 7 podría encontrar otras aplicaciones, por ejemplo en las turbinas de las centrales. ■



El polvo Zircyt 7 se fabrica, como la lejía, mediante un proceso de atomización. Ventajas: una forma y una granulometría (de 30 a 40 micras) regulares. (Fotografías CEA.)



El avión vuela sin el hombre

Pierre Vacher es especialista en aviones sin piloto en el ONERA.

¿Cuál es la historia de los drones?
El primer drone (o gnóptero) fue probado en 1918. Fueron utilizados durante al segunda guerra mundial, como blancos para el entrenamiento de los aviadores. La guerra del Vietnam los hizo renacer. Durante la guerra del Kippour, en 1982, los israelitas utilizaron con éxito ingenios rústicos, como observadores o como señuelos, para activar los radares enemigos y conocer así sus posiciones.

¿Sobre qué versan las investigaciones?
Los Hale (alta latitud, larga duración) poseen la cota: pueden volar durante 24 horas a más de 20 km de altura. Allí es necesario compensar el enrarecimiento del aire, mediante una gran velocidad (Mach 3 o más) o una gran superficie de ala. Los hales pueden espiar, visualmente o en escucha electromagnética. Podrían servir contra los misiles balísticos, «cogiéndolos» en su fase de partida. Ésta es la misión del Global Hawk norteamericano, de 40 m de envergadura y 12 toneladas de peso, que deberá volar en diciembre. Otra idea es construir aparatos muy pequeños, de menos de 100 g y con una longitud inferior a los 15 cm. Podrían, así, ser utilizados por soldados en combates urbanos. Una investigación importante se centra en aumentar la capacidad embarcada para el tratamiento de la información, por ejemplo para distinguir en una imagen follaje y camuflaje. También se está interesado en la coordinación de muchos aparatos.

¿Es el fin del piloto de caza?
Existen dos proyectos norteamericanos de caza no pilotado, CATA y UTA. Los gnópteros podrán servir de apoyo a los aviones pilotados, como señuelos, ayuda en el bombardeo o para constatar el resultado de un disparo. ■

Programas a la búsqueda de genes

Con los avances en la secuenciación de genes, los programas informáticos permitirán establecer la correspondencia entre genes similares de diferentes especies tomando una importancia considerable. Ejemplo: se marca en el ratón el gen responsable de una enfermedad de la cual se conoce una variante en el hombre. El gen humano correspondiente probablemente se le parece. Comparando los genomas de dos especies, los programas pueden detectar las secuencias humanas susceptibles de corresponderse con la versión del mismo gen en el ratón. Un programa eficaz en esta categoría acaba de ser puesto a punto por P. Pevzner, de la University of Southern California de Los Ángeles y dos colegas rusos, M. Gelfand y A. Mironov. El algoritmo, llamado Procustes, se basa en un método combinatorio, mientras que sus predecesores adoptaban una aproximación esencialmente estadística. La dificultad principal a la cual se enfrenta un programa como éste es la de marcar, en los cromosomas, las secuencias de codones que forman un gen. Así, en los organismos evolucionados, estas secuencias (los exones) están separadas por otras secuencias que no están codificadas por ninguna proteína y son difíciles de distinguir. Otro obstáculo: cuando se busca un gen próximo a un gen conocido, se esperan encontrar pequeñas variaciones que el programa debe detectar sin descalificar al gen. Se puede comparar el trabajo de este programa a la búsqueda en una revista de un artículo de prensa que ya se ha leído en otra revista y en otra lengua. ■

• **Para saber más:**
http://www-hto.usc.edu/people/Pevzner.html.

Calor contra el cáncer



Modificando los litofragmentadores, se podrán tratar tumores mediante ultrasonidos. (Fotografía tdr.)

Desde hace algunos años se utilizan ultrasonidos para destruir los cálculos renales. Con una nueva técnica, la piroterapia, un aparato de litofragmentación produce ondas ultrasonoras que inducen una temperatura elevada en el volumen a tratar. La piroterapia podría curar también los tumores cancerígenos. Los investigadores han puesto a punto el Pyrotech (desarrollado por Edap Technomed, en Marne-la-Vallée) modificando los litofragmentadores de cálculos renales. «Nuestro nuevo dispositivo utiliza una potencia acústica de 1 kW, potencia 100 veces menor que el litofragmentador clásico, y un tiempo de tiro 100.000 veces mayor, entre 0.5 y 1 s, para una frecuencia del orden del mHz », indica Francois Lacoste, de Edap Technomed. El elemento esencial del litofragmentador es un conjunto de transductores piezoeléctricos de cerámica que transforman la corriente eléctrica en ultrasonidos. Los 160 transductores están dispuestos sobre una pequeña cúpula esférica de manera que focalizan precisamente las ondas sobre el blanco. La elevación de la temperatura provocada en él (88 °C) supone la destrucción de la estructura de las proteínas de sus células. Se puede desplazar el frente del haz para destruir un volumen histológico de algunos cm^3. Pruebas con cerdos, ratas y hámsters, llevadas a cabo por el PrGuy Vallancien, del Instituto Montsouris (París), han demostrado la eficacia del método (*Urology*, 47, 204, 1996).
Las pruebas se dirigen ahora hacia pacientes humanos. Los primeros resultados son alentadores. De confirmarse, este procedimiento permitirá tratar ciertos tumores sin intervención quirúrgica y evitando la hospitalización. ■

Un corazón muy preciso

Una de las dificultades tecnológicas con la que se encuentran los estimuladores cardiacos es la de adaptar el ritmo del impulso al tipo de actividad de su portador. Un estimulador cardiaco es un dispositivo electrónico asociado al corazón por una o dos sondas, que le transmiten las señales eléctricas greneradas por el músculo. Los algoritmos de los estimuladores utilizan esta información para, cuando es necesario, enviar los impulsos eléctricos al corazón vía las sondas, a fin de regular el ritmo cardiaco. La adaptación de esta frecuencia a los esfuerzos del paciente es todavía imperfecta. Una solución propuesta por la firma italiana Sorin es la de implantar en el extremo de la sonda un microacelerómetro que proporcione una información de naturaleza mecánica, sobre la contractilidad del corazón. La medida de la aceleración efectuada, que genera 5 milivoltios por 1 G de aceleración, está perfectamente correlacionada con el nivel de demanda del sistema nervioso vegetativo, el mismo que refleja exactamente el nivel de esfuerzo. El estimulador es así guiado con una precisión mucho mayor que la de los dispositivos anteriores, lo que permite al paciente variar la intensidad de sus actividades (correr, subir escaleras, jugar a tenis) sin limitación. El sistema de Sorin está siendo actualmente probado sobre una decena de pacientes en Francia, con resultados positivos. En el futuro, esta información sobre la contractilidad podrá servir para otras aplicaciones en cardiología, como el seguimiento de mediaciones o la vigilancia de los operados del corazón y de los trasplantados. ■

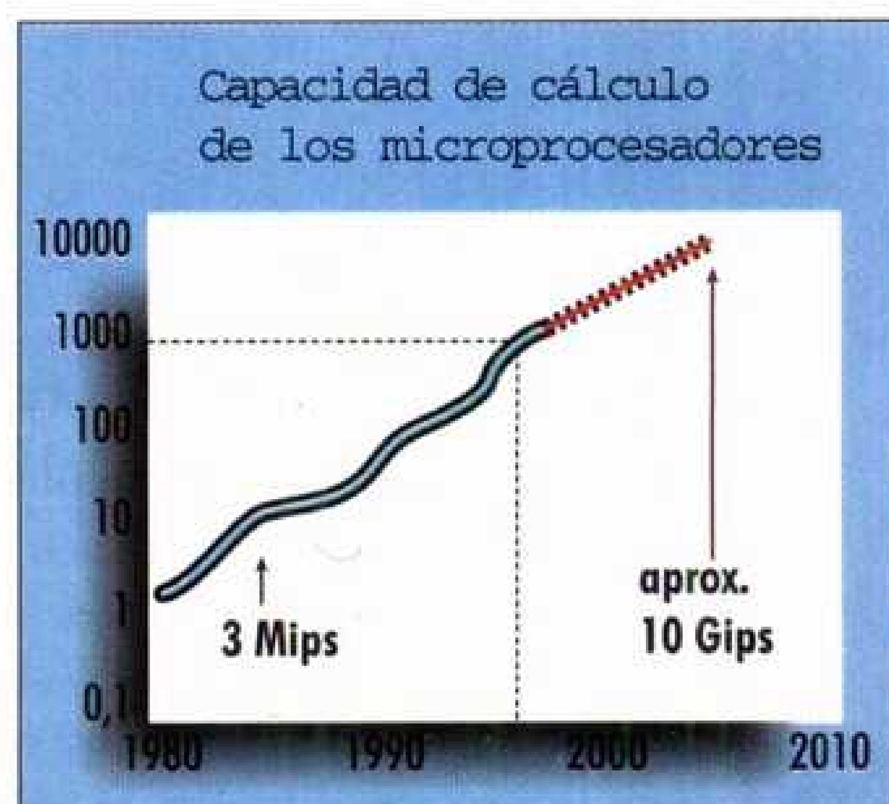
MEDIDAS

Los estremecimientos del planeta

Las palpitaciones de la superficie terrestre se evalúan en centímetros gracias a la interferometría por radar de síntesis de apertura, denominada INSAR. El interés reside en que, a diferencia del GPS (Global Positioning System) o de cualquier procedimiento geodésico, no requiere de equipamiento en tierra. INSAR se basa en el registro de las reflexiones, por el suelo, de las ondas radioeléctricas emitidas por un satélite, como el ERS-1. Se tratan dos informaciones: la intensidad de la señal, que depende de la reactividad del suelo (la vegetación absorbe, por ejemplo, mucho más la onda que el hormigón), y la variación de la fase de la onda radar, que depende de la distancia entre el suelo y la antena del radar. Se obtienen así variaciones de algunos centímetros de altitud. El método es tanto más interesante cuanto que la medida se repite tras cada paso consecutivo del satélite por encima del mismo punto (a cerca de 600 m), siendo bien conocidos los parámetros exactos de la órbita descrita. Así, las diferencias de fase entre dos observaciones se calculan para construir cada pixel de una imagen de interferencia. Pueden construirse mapas en tres dimensiones con una resolución de 3 m. INSAR produce imágenes espectaculares, como las obtenidas durante el seísmo de Los Ángeles (Nature, 364, 138, 1993). Se hallan en curso diversos estudios sobre una treintena de lugares prioritarios: el Etna, el Pinatubo, el Spitzberg, Niza, etc.

TENDENCIAS

Microprocesadores, siempre a más



La potencia de los microprocesadores deberá alcanzar los 10 mil millones de instrucciones por segundo (Gips) antes del 2010.

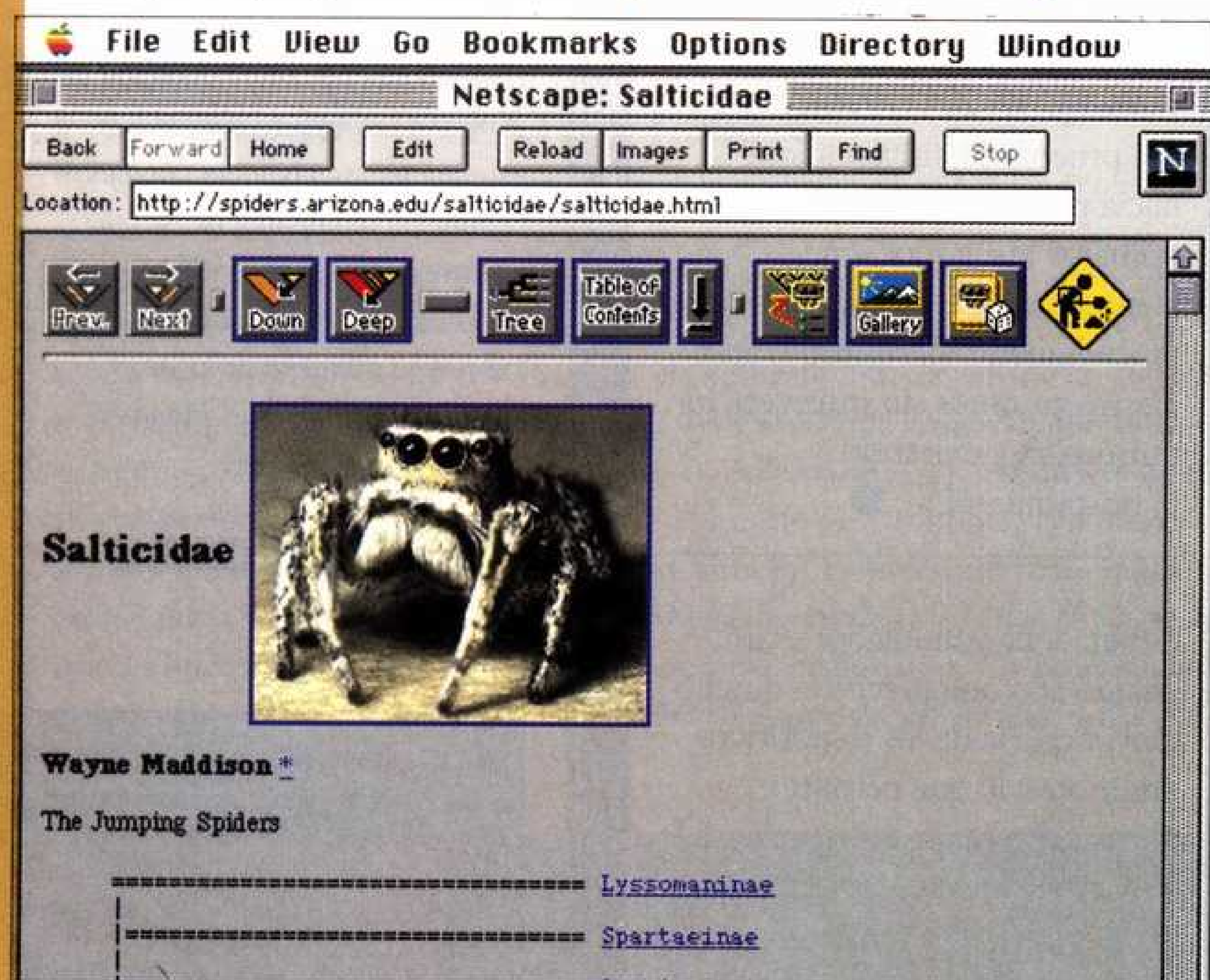
La batalla de los navegantes causa estragos

Devolviendo golpe por golpe durante el mes de agosto, el pequeño Netscape y el gigante Microsoft han dejado en la arena la tercera y última versión de sus respectivos softwares de navegación, *Navigator* e *Internet Explorer*. Esta vez, la mayoría de los observadores están de acuerdo en decir que las dos herramientas son totalmente equiparables en el plano técnico. Para marcar la diferencia, han creído conveniente añadir otros proyectiles. Netscape intenta jugar la carta jurídica atacando al número uno del software por sus desleales prácticas concurrentes. Microsoft lo desmiente y ya da cuenta de su versión 4. Con el tiempo, se integrará «disuelta» en el Windows. Ésta es el arma más contundente de que dispone Microsoft: si mañana *Explorer* forma parte integrante del sistema operativo más extendido por el planeta, la partida se hará muy desigual. Esto debería empujar a Netscape Navigator a procurarse cada vez más autonomía, a constituirse en un sistema completo que pueda responder, sin Windows, a las necesidades más importantes.

LO MEJOR DEL WEB

EL ÁRBOL DEL SER VIVO TODAVÍA SE AGITA

Este lugar titulado «The Tree of Life» (phylogeny.arizona.edu/tree/phylogeny.html) todavía enarbolará durante mucho tiempo signos de «atención, obras», aunque ya ha llegado el momento de presentarlo. Con el tiempo, deberá ofrecer una clasificación completa de todo lo que vive sobre la Tierra, a razón de una página Web por «nudo» del grafo. Pero desde ahora, después de casi dos años de presencia en el Web y, sobre todo de crecimiento, un millar de páginas en distintos estados esperan a quien desee subir por el árbol. En el origen de este proyecto se encuentran David y Waine Maddison, dos biólogos de la Universidad de Arizona, en Tucson, dedicados desde hace mucho tiempo a la informatización de la filogenia. Pero dada la monumental ambición de su empresa, su papel ha pasado a ser el de editores de una obra más colectiva: en su construcción ya han participado 200 contribuyentes. En efecto, cada página es redactada por un autor elegido por su pericia. También se ha previsto la puesta a punto de un mecanismo de evaluación mediante una especie de comité de lectura. Un página presenta en primer lugar su tema con una imagen o varias imágenes y luego, gráficamente, el pequeño fragmento de la arborescencia que ocupa, indicando la hipótesis más consensuada y actualizada en todos los aspectos y, especialmente, en lo que se refiere a la cronología



de las ramificaciones presentadas. En el caso de que sean defendibles otras teorías o que se juzguen por lo menos interesantes, pueden aparecer y discutirse en otra sección de la página. En los casos extremos, también se ha previsto que puedan cohabitar dos páginas concurrentes. La posición filogénica tratada en la página (orden, género, familia, especie...) se expone seguidamente en un texto corto, el cual va seguido de una descripción de las características que permiten su identificación. A continuación vienen las referencias bibliográficas, las informaciones sobre el autor de la página, su fotografía y, finalmente, los vínculos con otros lugares de Internet dedicados a los mismos «bichos».

Net de varias velocidades

Con el Net cada vez más atascado, uno se dice que algún día será necesario pasar a un «Net de varias velocidades».

Bonita paradoja: las personas más satisfechas de su enlace Internet son las que hoy están desconectadas del Net. Como estos científicos norteamericanos de cinco centros de cálculo intensivo conectados entre ellos por enlaces de 155 Mb/s, dentro del marco del proyecto VBNS. En principio, Internet se diseñó para los científicos, pero hoy en día, para escapar de las aglomeraciones, tienen que disponer de otros canales. Imposible trasplantar directamente estos trozos de información tan rápidos a través del NET, porque la lógica tan igualitaria del TCP/IP, para el que un paquete es un paquete, beneficiaría a la tubería TGV destinada a teleexperiencias, sin importar cuál es el acceso al lugar de Playboy. La experiencia VBNS, conducida bajo el amparo de la NSF, se ha juzgado concluyente y será ampliada a toda la comunidad científica (EE.UU.), mientras que las líneas pasarán a ser de 2,2 Gb/s en el transcurso de los siguientes cinco años. Por tanto, se admite la necesidad de poder garantizar un flujo a ciertos usuarios a cambio de un cierto «precio»... Una razón más para interesarse por la ATM, una tecnología de redes que permite crear «circuitos virtuales» de flujo reservado y garantizado. De esta manera, gracias a la ATM, otros, en Silicon Valley, han podido navegar desde 1995 a 155 Mb/s y más en el marco de la experiencia instructiva «Bay Area Gigabit Testbed» (BAGnet).

MUY BREVE

SOBRE EL WEB

Karpov gana al mundo.

Kasparov ganó a un ordenador a principios de este año, pero es a los «hombres» que Karpov, considerado como el segundo jugador mundial, ha ganado este verano. Vía Internet, naturalmente. De manera más precisa, las blancas eran jugadas a distancia por unos 250 humanos de todo el mundo jugando por referéndum, gracias a un programa que determinaba la jugada propuesta con mayor frecuencia. Después de 32 jugadas, Karpov la ganó con las negras por abandono. Ninguna sorpresa: el mundo había decidido abrir de la manera más clásica: «e2-e4». Con el movimiento «c7-c6», Karpov respondió con la apertura «Caro-Kann». Durante unas quince jugadas, el juego parecía equilibrado, y el mundo mantuvo sus posibilidades durante algunas otras. Pero, en la jugada 32, se vio obligado a entregar su dama para evitar el mate. Una mayoría votó por el abandono...

Navegar por todas las aguas

Jim Clark es quien dirigirá la nueva sociedad Navio que acaba de crear Netscape, confiándole un objetivo muy ambicioso. «En cinco años, Internet interconectará a 500 millones de individuos a través de toda clase de objetos que no se parecerán mucho a un PC», se expone en la profesión de fe de Navio. Su misión será preparar la aplicación de la tecnología Netscape a objetos tan dispares como televisores, teléfonos celulares, vehículos, consolas de juegos, e incluso a los relojes de pulsera del futuro (www.navio.com).

Justo en la diana

The Angle *(www.theangle.com) es el nombre de un nuevo lugar que desea crear una página «personalizada» que proponga cada día nuevos vínculos hacia informaciones de todas clases y de nuevos lugares Web, en función de los centros de interés definidos previamente mediante un cuestionario. Todavía es joven, no tiene nada de asombroso, pero es gratuito. Explicación: el editor de* The Angle *precisa que tiene la intención de suministrar a sus anunciantes información detallada sobre los centros de interés de sus lectores, forzosamente muy limitada dada la lógica del sistema...*

¿EL UNIVERSO EN UNA PROBETA?

Christopher Bäuerle, Yuriy M. Bunkov, Shaun N. Fischer, Henri Godfrin y George R. Pickett

La creación de cuerdas cósmicas «vista» a través de una gota de helio

CHRISTOPHER BÄUERLE, YURIY M. BUNKOV, SHAUN N. FISCHER y HENRI GODFRIN, Centro de investigaciones sobre muy bajas temperaturas, CNRS, Grenoble. GEORGE R. PICKETT, Universidad de Lancaster, Gran Bretaña.

A muy baja temperatura, el helio 3 presenta ciertas analogías con nuestro Universo. Este parecido ofrece a la cosmología la posibilidad de realizar sus primeros experimentos.

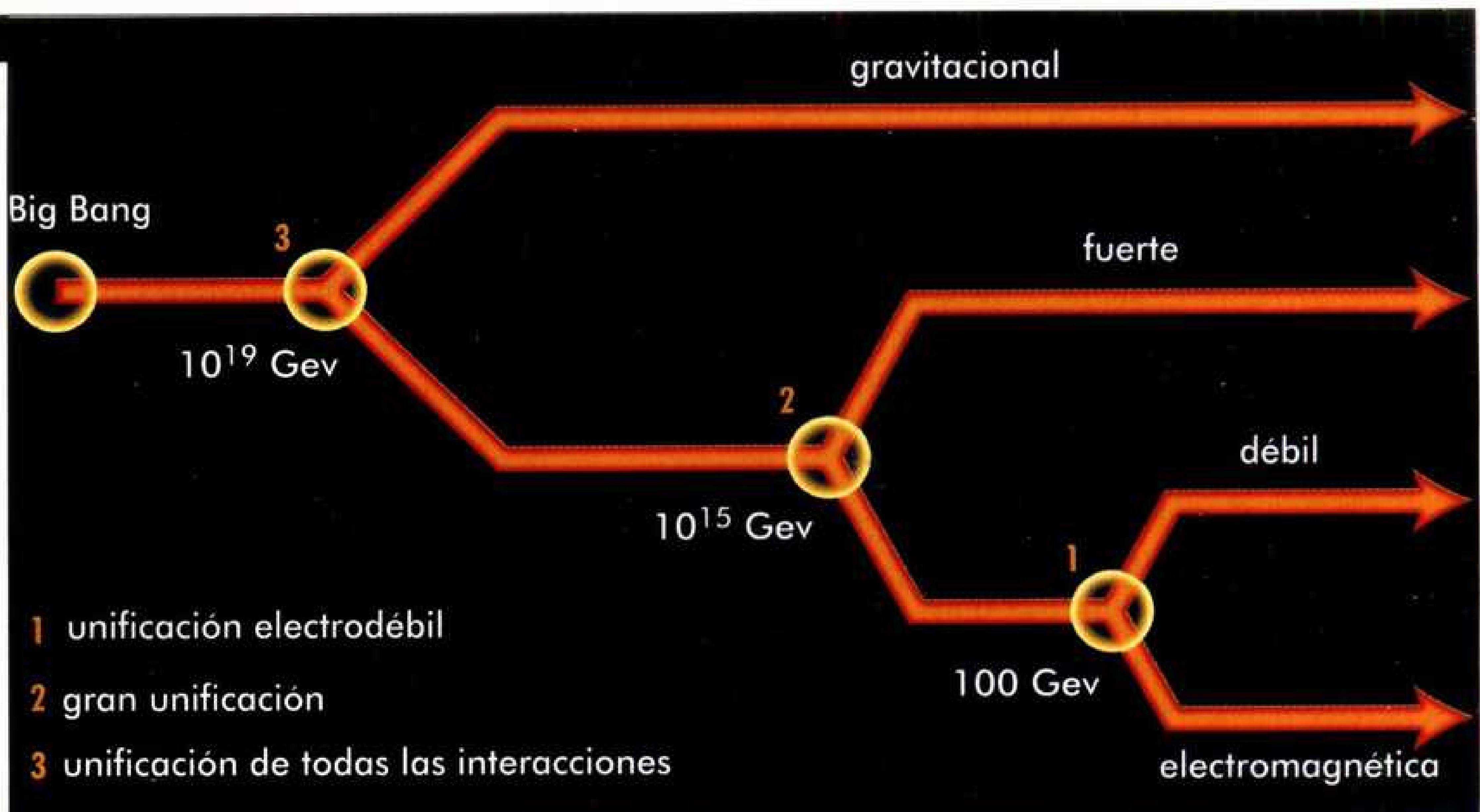


Figura 1. **Este esquema describe**, *de acuerdo con las teorías actuales, la unificación de las cuatro interacciones fundamentales y las energías características asociadas a las correspondientes transiciones de nuestro Universo (1 GeV = 1.000 millones de electronvoltios).*

Se atribuye a Lord Rutherford, famoso físico de comienzos del siglo XX, una clasificación de las ciencias en dos clases exclusivas: la física y las colecciones de sellos. La justificación principal de esta clasificación poco ortodoxa era simple: Rutherford consideraba que las teorías de la física eran las únicas que podían ser objeto de verificación experimental.

Aunque excesiva, esta afirmación traduce la importancia concedida por los investigadores a la confrontación entre teoría y experiencia. Existen, sin embargo, sectores de la propia física donde el estudio experimental es difícil. Los cosmólogos y los físicos de partículas, por ejemplo, hacen auténticos derroches de imaginación para confirmar o invalidar los modelos teóricos que describen la génesis del Universo.

Según las teorías actuales, nuestro Universo fue creado por el Big Bang hace 15.000 millones de años. Ciertos efectos observados, como el corrimiento hacia el rojo de los espectros de las galaxias, pueden inscribirse en este escenario. Pero, ¿cómo verificarlo? ¿Cómo se puede realizar un experimento sobre el Big Bang?

Sorprendentemente, resulta que el helio(1) tiene algo que ver con los fenómenos cósmicos. Para comprender el porqué, hay que recordar algunas ideas de la física de partículas elementales. Sabemos que el «vacío» de nuestro Universo es mucho más complejo de lo que parece y que no debe confundirse con la «nada». El vacío constituye, por definición, un estado de energía mínima; las excitaciones del vacío representan las partículas elementales que nos son familiares. Por ello, la naturaleza de las partículas está directamente relacionada con las propiedades del vacío y en particular con sus simetrías (se trata de simetrías abstractas, no geométricas).

Según los teóricos, las partículas dotadas de masa aparecieron a raíz de una transformación del Universo muy temprana en su historia. Poco después de nacer, el Universo se encontraba en rápida expansión y la densidad de energía decrecía muy deprisa. Este Universo primordial poseía un grado muy elevado de simetría. Más tarde, al enfriarse, el Universo alcanzó unas condiciones que le hicieron sufrir una transición, tras la cual, parte de las simetrías desaparecieron (fig. 1).

Se piensa que los primeros instantes después del Big Bang dieron origen a tres transiciones de este tipo, que a su vez produjeron las cuatro formas de interacciones conocidas: gravitacional, electromagnética, débil y fuerte. La última de estas transiciones, que diferenció las interacciones electromagnética y débil, fue descrita por los teóricos en los años 1970. Esta teoría de la unificación electrodébil (modelo de Weinberg-Salam) fue ampliamente confirmada en los aceleradores de partículas a partir de 1983.

Los modelos que describen estas transiciones surgieron de la física de la materia condensada; fueron elaborados en los años 1950 en relación con las transiciones líquido → superfluido* y conductor → superconductor* por distintos científicos, entre los que destacan los soviéticos Evgeny Ginzburg y Lev Landau. No es de extrañar, pues, que haya puntos en común entre estos fenómenos y los fenómenos, aparentemente tan alejados, de la física de partículas.

Examinemos, por ejemplo, el caso del efecto Meissner, bien conocido en los metales superconductores. En el llamado «estado normal», no superconductor, al acercar un imán el campo magnético penetra fácilmente en el metal. Pero cuando el metal se enfría y se vuelve superconductor, el campo magnético es expulsado. Se trata de un efecto explicable. Las ecuaciones del campo electromagnético pueden interpretarse suponiendo que los fotones adquieren en el superconductor una masa no nula. Como la situación sería muy desfavorable desde el punto de vista energético, los fotones (que transportan la fuerza electromagnética) son expulsados del superconductor.

Supongamos así que un minúsculo investigador que vive en el interior del superconductor quiere verificar la exis-

En su estado **SUPERFLUIDO,** el helio se convierte en un líquido carente de toda viscosidad.

Cuando un material es **SUPERCONDUCTOR,** conduce la corriente eléctrica sin ninguna resistencia.

La **SUPERFLUIDEZ** y la **SUPERCONDUCTIVIDAD** forman parte de los raros efectos cuánticos que se manifiestan a escala macroscópica. Ambos requieren una temperatura muy baja.

tencia de los fotones. ¿Cómo podría proceder, sin salir de su «Universo»? Una posibilidad consistiría en destruir localmente la superconductividad, pero tal cosa requeriría una energía relativamente elevada.

Hay una segunda solución. Es sabido que, en la transición conductor → superconductor, el campo magnético puede quedar atrapado en el material en forma de filamentos muy finos donde la superconductividad queda destruida. Estas estructuras, llamadas «vórtices de Abrikósov», constituyen defectos topológicos. Estudiándolos, nuestro investigador liliputiense tendría acceso a las propiedades de los fotones, es decir, a las de su Universo tal como era antes de la transición.

Nuestro Universo podría también contener objetos que, como los vórtices, fueran el producto de transiciones durante las cuales se produjo una ruptura de simetría. Algunas teorías afirman que el rápido enfriamiento del Universo indujo la formación de defectos topológicos del espacio-tiempo. Estos defectos filiformes y extremadamente masivos (su diámetro sería del orden de 10^{-26} m, mientras que su masa por unidad de longitud valdría 10^{21} kg/m), llamados «cuerdas cósmicas», pudieron haber sido gérmenes para el nacimiento de cúmulos de galaxias. Se trataría de entidades análogas a los vórtices de los superconductores, aunque dotadas de unas propiedades de simetría mucho más sofisticadas.

¿Cómo verificar la plausibilidad de esta idea? Es posible buscar otros sistemas que presenten semejanzas con nuestro Universo. Los cosmólogos se han interesado por los superconductores y por el helio líquido, así como por los cristales líquidos. Lamentablemente, las propiedades de simetría de dichos objetos permiten una mera simulación cualitativa de las transiciones sufridas por nuestro Universo.

Muy recientemente, sin embargo, el helio 3 superfluido ha demostrado ser particularmente interesante. El helio 3, formado por átomos cuyo núcleo consta de dos protones y un neutrón, se vuelve líquido a baja temperatura. Por debajo de una temperatura crítica T_c del orden de 0,001 kelvin, sufre una transición de fase hacia un estado superfluido. De hecho, existen tres estados superfluidos diferentes, llamados A, B y A1, que se distinguen por sus simetrías. En su descripción intervienen no sólo simetrías «clásicas» (simetrías frente a rotaciones del espacio), sino también simetrías más abstractas, ligadas a la física cuántica y a su formalismo matemático.

Las cuerdas cósmicas, defectos filiformes muy masivos, pudieron haber dado origen a los cúmulos de galaxias

El helio 3 presenta todas estas simetrías en la fase líquida «normal»; en la fase superfluida, en cambio, algunas se pierden (se «rompen»). Por una afortunada y extraordinaria coincidencia, el helio 3 superfluido presenta una combinación de simetrías matemáticamente muy parecida a la que describe la evolución de nuestro Universo. En este sentido, el helio 3 superfluido constituye un verdadero modelo para la cosmología.

Nuestro equipo del Centro de investigaciones de muy bajas temperaturas de Grenoble, en colaboración con la Universidad de Lancaster (Gran Bretaña), así como un grupo internacional dirigido por Matti Krusius, de la Universidad de tecnología de Helsinki (Finlandia), acaban de realizar sendos experimentos que cabría calificar de «cosmología experimental».[1,2]

En ambos casos, la muestra de helio 3 enfriada por debajo de la temperatura de la transición superfluida fue irradiada por neutrones (fig. 2). Éstos interactúan con el líquido mediante una reacción nuclear *neutrón* + ^{3}*He* → *protón* + *tritio*.

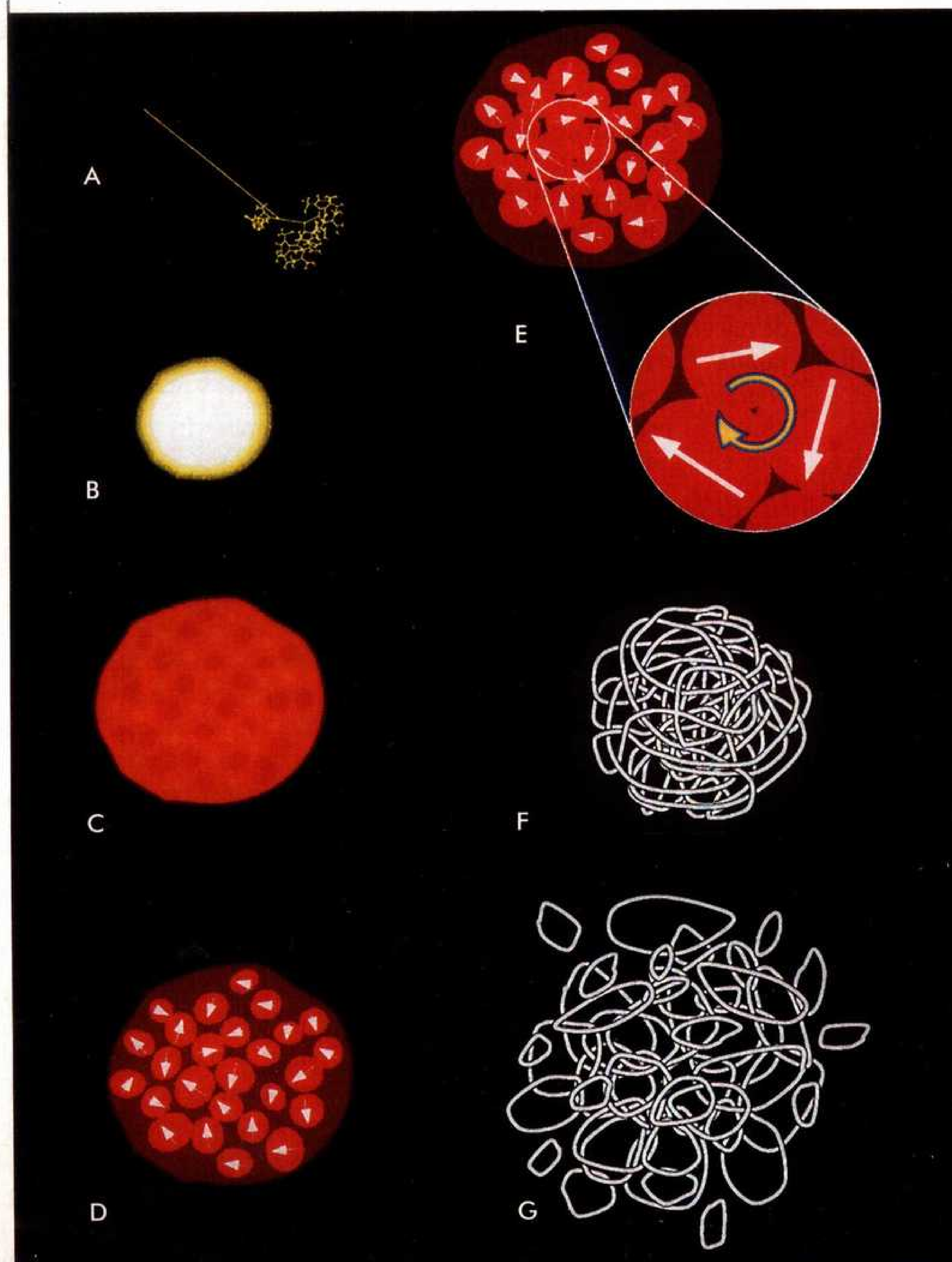


Figura 2. **La interacción de un neutrón** *con el helio 3 superfluido libera una energía de 764 keV (A). En una pequeña región del líquido, la temperatura sube por encima de la temperatura crítica, anulando la superfluidez. Esta región «normal» se va extendiendo (B). No obstante, como la temperatura disminuye muy rápidamente, se desarrollan pequeñas regiones superfluidas (C). Éstas están caracterizadas por distintas simetrías, simbolizadas aquí por flechas (D). A medida que prosigue el enfriamiento, los embriones superfluidos se van extendiendo y recombinando (E), lo cual engendra unos defectos topológicos filiformes llamados vórtices (F). Durante un cierto tiempo, parte de la energía depositada por el neutrón queda atrapada en forma de vórtices*

Mundo Científico ha publicado:
(I) «El helio, un líquido ejemplar», octubre, nº 139, 1993.
(II) «Los torbellinos de los superfluidos», febrero, nº 121, 1992.

(1) C. Bäuerle *et al.*, *Nature*, 382, 332, 1996.
(2) V.M.H. Ruutu et

La energía cinética de los productos de la reacción, igual a 764 keV, queda rápidamente disipada en el helio. Cada neutrón absorbido produce un calentamiento muy local del helio líquido que basta para destruir el estado superfluido dentro de una región esférica de unos 50 micrómetros de diámetro. Esta minúscula bola caliente se enfría muy deprisa y recupera su carácter superfluido cuando la temperatura local vuelve a estar por debajo del valor crítico.

El proceso de nucleación de la fase superfluida es complejo y especialmente interesante. Si la transición es rápida, pueden nacer embriones de superfluidos de estados diferentes en distintas regiones de la bolita. Éstas pueden crecer y recombinarse o bien desaparecer.

¿Cómo se reconstituye un superfluido uniforme a partir de estos embriones inconexos? Esta cuestión ya fue estudiada en 1976 por Tom Kibble, del Imperial College de Londres, en el contexto de la creación de cuerdas cósmicas después del Big Bang,[3] y fue traspuesta al helio superfluido en 1985 por Wojciech Zurek, de Los Álamos National Laboratory (Estados Unidos).[4] La teoría predice que los embriones superfluidos se recombinan formando vórtices, unos defectos topológicos que cabe describir como torbellinos de superficie que giran alrededor de un núcleo de fluido normal.[II]

Los sucesos subsiguientes dependen fuertemente de la temperatura. En el cero absoluto, el superfluido se encuentra en su estado de energía mínima. En tal caso, la presencia de los átomos es en cierto modo invisible: si se desplaza un objeto por el superfluido, no se observa ningún rozamiento, como si la célula estuviera perfectamente vacía.

Pero al aumentar la temperatura aparecen un cierto número de «excitaciones». Estos cuantos de energía se llaman cuasipartículas porque se comportan prácticamente como un gas de partículas capaces de interactuar con el objeto situado en el líquido. Así, pueden formarse cuasipartículas a partir del estado superfluido análogamente a como el «vacío» de la cosmología engendra las partículas de nuestro Universo.

Si la temperatura es relativamente elevada (superior a 0,4 veces la temperatura crítica T_c), el superfluido contiene una gran densidad de cuasipartículas. A causa de sus interacciones mutuas, estas excitaciones del superfluido tienen una vida muy corta (de algunos microsegundos), pero se crean y destruyen constantemente. También interactúan fuertemente con los vórtices, los cuales, a su vez, sobreviven unos milisegundos. Estas condiciones corresponden al Universo primordial.

Recapitulemos: cuando se enfrían las bolitas calientes creadas por la irradiación de neutrones, nacen y se extienden zonas superfluidas dotadas de distintas simetrías. Al recombinarse, estas zonas engendran vórtices, que forman una maraña comparable a un plato de espaguetis.

Pero los vórtices son rápidamente destruidos por las cuasipartículas circundantes. ¿Cómo detectar su presencia en tales condiciones? El equipo de Helsinki resolvió el problema imprimiendo a su aparato un movimiento de rotación uniforme, que permite estabilizar e incluso hacer crecer los vórtices alejándolos de las proximidades de la bola caliente. Para poner de manifiesto los vórtices se emplearon sofisticadas técnicas de resonancia magnética nuclear.

Si tuvieron lugar las transiciones de fase postuladas por los teóricos, probablemente se crearon cuerdas cósmicas

El método que hemos adoptado es diferente. Consiste en medir la energía de las cuasipartículas creadas por la llegada del neutrón. Si esta energía es inferior a la energía desprendida por la reacción nuclear (764 keV), la diferencia debe haber sido absorbida por los vórtices. Pero para obtener una señal neta, es preciso que las cuasipartículas preexistentes del fluido sean poco numerosas, lo cual requiere una temperatura muy baja, inferior a cerca de 0,4 T_c (el gas de partículas térmicas se vuelve entonces muy diluido; la interacción entre éstas es muy débil, de donde surge un aumento de su vida; se obtienen en tal caso unas condiciones análogas a las del Universo frío en el que vivimos).

Para alcanzar este régimen, hay que enfriar el helio 3 superfluido hasta los límites de las posibilidades actuales. Sólo tres laboratorios en todo el mundo pueden trabajar actualmente en este intervalo de temperaturas.

Uno de ellos es el Centro de investigaciones de muy bajas temperaturas de Grenoble, cuyo nuevo refrigerador de desimanación nuclear es capaz de enfriar una muestra de helio 3 hasta temperaturas inferiores a los 100 microkelvin. Hemos utilizado este instrumento para medir con precisión la energía depositada en una muestra de helio 3 superfluido al absorberse un neutrón. Hemos constatado que una parte de la energía depositada no es restituida rápidamente en forma de cuasipartículas. Está claro que objetos formados tras el aporte de calor debido al neutrón y dotados de una energía importante sobreviven en el helio 3 superfluido durante varios segundos. Un análisis cuantitativo de los resultados no tardó en revelar que la energía de tales objetos corresponde a la estimación teórica de Zurek para la creación de vórtices. Pero el experimento no estaba terminado. Tales medidas, en efecto, habían sido realizadas con helio 3 líquido a presión nula. La fuerte variación de las propiedades del helio 3 con la presión ofrecía la posibilidad de una verificación más exacta del modelo teórico. Sacrificando nuestra célula experimental, que no estaba pensada para condiciones tan extremas, fuimos aumentando la presión hasta que explotó el recipiente, a 28 bars. Pero valió la pena, pues la energía asociada a dichos objetos varió en función de la presión de acuerdo con la expresión teórica calculada bajo la hipótesis de la creación de vórtices.

Estos experimentos demuestran a las claras que una fracción importante de la energía puede subsistir en forma de excitaciones topológicas (los vórtices) tras una transición de fase rápida. También permiten determinar cuantitativamente la densidad de los vórtices y el resultado concuerda muy bien con la teoría de Zurek. La lección cosmológica es que si las transiciones de fase postuladas por los teóricos tuvieron lugar realmente, entonces se crearon muy probablemente cuerdas cósmicas a través de un mecanismo que los dos experimentos con el helio 3 acaban de confirmar.

Dada la profunda analogía entre el helio 3 superfluido y la teoría que describe las partículas elementales, es obvio que cabe esperar un desarrollo importante de esta cosmología experimental. El que los secretos de la formación del Universo encuentren parte de su explicación en el helio 3 cerca del cero absoluto de temperatura no debería sorprender: la investigación científica abunda en ejemplos que demuestran que las llaves no siempre están debajo del felpudo.

C.B. ■

(3) T.W.B. Kibble, *J. Phys. A*, 9, 1.387, 1976.

(4) W.H. Zurek, *Nature*, *317*, 505, 1985.

Para más información

■ P. Davies (ed.), *La Nouvelle Physique*, Flammarion, 1993.

■ «Quantum fluids and solids», *J. of Lox Temp. Phys.*, *3/4*, mayo, 1990.

■ D.R. Tilley, J. Tilley, *Superfluidity and superconductivity*, 3ª ed., A. Hilger, 1990.

■ W.H. Zurek, «Cosmological experiments in condensed matter systems», *Physics Reports*, Elsevier (en prensa).

LAS PUERTAS DE ENTRADA DEL VIRUS DEL SIDA

Laure Schalchli

Un receptor, un cofactor, dos cofactores, tres cofactores...

LAURE SCHALCHLI es periodista científica.

LOS LINFOCITOS son células inmunitarias. Se distinguen los linfocitos B, especializados en la producción de anticuerpos, y los linfocitos T. Los linfocitos T CD8+ (sinónimos: linfocitos T8, linfocitos CD8) llevan en su superficie el receptor CD8; se denominan citotóxicos porque destruyen las células infectadas por el virus. Los linfocitos T CD4+, o «auxiliares», llevan en su superficie el receptor CD4; constituyen una de las dianas del virus del sida.

Mundo Científico ha publicado:
(I)
«¿Un segundo receptor para el virus del sida?», nº 144, marzo, 1994.
(II)
«El segundo receptor del virus del sida: continuación», nº 151, noviembre, 1994.

(1)
Y. Feng *et al.*, *Science*, 227, 872, 1996.
(2)
F. Cocchi *et al.*, *Science*, 270, 1.811, 1995.

Se buscaba uno desde hace años. Se han encontrado por lo menos cuatro. La identificación de moléculas utilizadas por el VIH para penetrar en el interior de las células humanas ha convulsionado la comunidad de los especialistas. Tanto es así, que la anomalía de uno de estos «cofactores», resultado de mutaciones genéticas, podría proteger a ciertas personas expuestas al virus del sida.

El efecto sorpresa se ha logrado bastante bien. El 11 de febrero pasado, en la ciudad de Santa Fe, Nuevo México, Eduard Berger presentó una comunicación ante una pequeña asamblea de colegas virólogos. Todos ellos estaban reunidos en las Montañas Rocosas con ocasión de un congreso especializado, llamado «Biología celular de la entrada de los virus, replicación y patogénesis» (Keystone Symposium). Berger declaró haber hallado una molécula humana inédita que permite al virus del sida penetrar en las células. Y, por tanto, infectarlas.

El anuncio fue sonado. Con su pequeño equipo del National Institute of Allergy and Infectious Diseases (NIH), Bethesda, Berger simplemente acababa de dar fin a diez años de búsqueda infructuosa.[I,II] El descubrimiento sólo permaneció aislado unas semanas. En total, entre mayo y junio, se identificaron cuatro moléculas de una función similar. Y, en agosto, se detectó un defecto en una de ellas en personas que, a pesar de estar expuestas al virus, escapaban a la infección. Para muchos de los especialistas del sida, estos trabajos marcan un punto de inflexión en el estudio de la enfermedad.

Para infectar el organismo, el virus del sida tiene que entrar en las células humanas. ¿Cómo actúa? Desde 1984 se sabe que, para fijarse en sus dianas, el VIH utiliza una molécula que aflora a la superficie de las células: el receptor CD4. Todas las dianas conocidas del virus en el organismo (como los macrófagos y ciertos linfocitos de los ganglios y de la sangre, las células microglias del cerebro) presentan el receptor CD4. Pero esto no lo explica todo, porque por sí mismo, el CD4 no basta para la entrada del virus. Prueba de ello es que el VIH es incapaz de penetrar en las células de ratones que han sido modificadas para llevar este receptor. El virus se fija bien en estas células, pero no logra infectarlas: la fusión de la cápside del virus con la membrana celular no se realiza. De ahí la hipótesis de la existencia de uno o más segundos receptores, o «correceptores», en las células: actualmente se habla de «cofactores de entrada» o de «factores celulares de fusión».

Es el descubrimiento de un cofactor como éste que Berger anunció el pasado febrero. «Una sorpresa enorme para todo el mundo», recuerda Marc Alizon. Este investigador parisiense, del instituto Cochin de biología molecular, cuenta entre los buscadores infructuosos. «Un trabajo creativo, esencial. Él es quien ha desbloqueado el problema...»

Para atrapar su molécula, el equipo de Berger empleó una técnica clásica que estaba encallada hasta entonces. La idea fue tomar células de ratones insensibles al virus e incluir en ellas material genético humano, para tratar de hallar la clave correcta. Se habla de complementación genética. Los investigadores hicieron más eficaz esta técnica utilizando, como vector de material genético (DNA), un virus de vacuna modificado. De esta manera, pudieron aislar su cofactor por eliminación.

De hecho, no se trata de una molécula completamente nueva. Como precisaron tres meses más tarde Berger y sus colaboradores cuando publicaron sus resultados en la revista *Science*, el cofactor corresponde a una molécula ya identificada anteriormente.[1] Debido a su función en la fusión del virus, el grupo la bautizó *fusin*, pero antes ya respondía a los enrevesados nombres de HUMSTSR, LCR-1 o LESTR. Su función en el organismo es desconocida, pero pertenece a una familia de proteínas especializadas en la recepción de señales químicas para las células. La *fusin* se parece extrañamente a ciertos receptores de las quimioquinas. Las quimioquinas son mensajeros que desempeñan un papel esencial en la inflamación de los tejidos (enrojecimiento, calor, dolor, etc.). En efecto, atraen los glóbulos blancos al lugar en que hay una herida o una infección.

En el congreso de Santa Fe, Berger se guardó mucho de desvelar la identidad exacta de su molécula. Pero la noticia no cayó en oídos sordos. Una vez reintegrados a sus laboratorios, varios grupos cambiaron totalmente sus planes de experimentos para ponerse inmediatamente tras la nueva pista. La ciencia pesada se puso en marcha. Y tanto más, que todo hacía sospechar que el cofactor identificado por el grupo de Berger no era el único. En efecto, los investigadores enfocaron sus experimentos sobre cepas particulares del VIH-1*, unos virus adaptados a las condiciones de laboratorio que invaden muy bien los linfocitos en cultivo. Estos virus se parecen a los que se encuentran en los pacientes en la fase terminal de la enfermedad. En cambio, se diferencian bastante de las cepas primarias, presentes en los enfermos en una fase más precoz. Por tanto, para estas cepas primarias, podrían existir otros cofactores.

Los virólogos disponen de otro índice importante. Ciertas quimioquinas tienen precisamente un efecto antivírico. En diciembre de 1955, el equipo de Robert Gallo y Paolo Lusso, entonces en el National Center Institute of Bethesda, había demostrado que tres quimioquinas del tipo β (llamadas RANTES, MIP-1α y MIP-1β), pueden inhibir la infección por el VIH. Producidas por las personas infectadas, disminuyen de manera importante la capacidad de varias cepas del virus para infectar las células *in vitro*.[2] ¿Es que las quimioquinas actúan bloqueando, por un efecto de competición, el cofactor que necesita el virus para penetrar en sus dianas?

Sin demora, diferentes grupos se procuraron los receptores de las quimioquinas para probarlos. En busca del gran premio: un cofactor. Todo fue muy rápido. A finales de junio, dos grupos neoyorquinos, uno dirigido por Dan Littman (Nueva York University Medical Center) y Nathaniel Landau (Aaron Diamond

VIH-1 Y VIH-2
El VIH-1 fue el primero que se identificó y es el más estudiado. Descubierto en África Occidental, el VIH-2 se limita prácticamente a esta región del mundo. Parece menos patógeno que el VIH-1. También provoca el sida, pero después de una latencia clínica más larga.

AIDS Research Center) y el otro dirigido por Richard Koup y John Moore (también del Nueva York University Medical Center), así como el equipo de Berger, identificaron un segundo factor de fusión. Es un receptor de las quimioquinas β, llamado CC-CKR5 (o también CCR-5), que permite la entrada de cepas primarias del VIH-1.[3,4,5] Simultáneamente, otros dos grupos identificaron dos cofactores más, siempre receptores de las quimioquinas β: CC-CKR3 y CC-CKR-2b.[6,7]

Si se depositan tantas esperanzas en el descubrimiento de estos cofactores, es porque podrían ayudar a resolver varios puntos oscuros. En primer lugar, para comprender la historia de la enfermedad en los pacientes. La visión de la infección ha cambiado mucho en estos últimos años. «Se ha hecho del linfocito CD4 el blanco central del VIH, mientras que yo pienso que tiene un papel marginal», explica Marc Alizon. Durante mucho tiempo, en una persona seropositiva, las partículas víricas presentes en los ganglios linfáticos son capaces de infectar dos tipos de células inmunitarias: los macrófagos y los linfocitos. Únicamente al final de la enfermedad es cuando el virus se fija con preferencia a los linfocitos que circulan por la sangre y los destruye. Esta progresión podría explicarse por un cambio de preferencia de las cepas víricas de un factor de fusión por otro. La hipótesis es defendida, entre otros, por Littman. En apoyo de esto, el factor CC-CKR5 permite la entrada de las cepas primarias del virus en los linfocitos, mientras que la *fusin* parece específica de las cepas más tardías, que se fijan con preferencia a los linfocitos. «Es probable que el virus tenga la opción de utilizar varios cofactores. Pero es algo que se desconoce», resume Quentin Sattentau.

Infección de una célula por el virus del sida. *El VIH se fija al receptor CD4 que lleva la superficie de la célula diana. Pero sólo entra en ella con la presencia de un cofactor, que permite la fusión de la cápside del virus con la membrana celular. (Cap: proteína de la cápside del virus.) Todos los cofactores identificados, entre ellos la fusin y el CC-CKR5, son proteínas con siete dominios transmembranarios. El mecanismo exacto de su participación en la entrada del virus todavía se desconoce.*

¿Bloquear químicamente estos cofactores para limitar la infección? Esto permanece en el campo de la especulación

No se sabe mucho más sobre el mecanismo de entrada del VIH en las células. Por otra parte, el enigma es aplicable a todos los virus conocidos. De momento, es una caja negra. Los factores de fusión identificados podrían proporcionar más elementos. ¿Cómo cooperan con los receptores CD4 para permitir la entrada del virus? ¿Interaccionan directamente estos cofactores con la cápside del virus? Los receptores de las quimioquinas transmiten las señales actuando sobre la maquinaria celular. ¿Es necesario este mecanismo para la entrada del virus?

Otra pregunta es sobre las posibles consecuencias de estos descubrimientos en clínica. «Esto es mucho más especulativo», adelanta, prudente, Marc Alizon. Incluso antes de la identificación de estos cofactores, la pista de un tratamiento basado en las quimioquinas o en otras análogas ya había sido mantenida muy activamente por Robert Gallo. «Las quimioquinas tienen, al menos, una ventaja: no son demasiado tóxicas y ya se han producido en cantidades importantes por ingeniería genética. Por tanto, están disponibles para los ensayos y, como se conoce su estructura, los químicos pueden hacer análogas», explica Quentin Sattentau. De hecho, las quimioquinas ya interesan a la industria farmacéutica por su función en la inflamación. De ellas podrían derivarse medicamentos contra el asma, las neumonías, la artritis, e incluso para las enfermedades cardiovasculares. ¿Y para el sida? Los estudios realizados sobre el cofactor CC-CKR5 demuestran que las tres quimioquinas RANTE, MIP-1α y MIP-1β limitan la entrada del VIH a las células, pero el bloqueo nunca es total.

Más optimista es el anuncio, hecho por Richard Koup, Nathaniel Landau y sus colegas, de que dos homosexuales expuestos al virus por sus parejas, pero inmunes a cualquier infección, son portadores de una mutación en los dos genes (materno y paterno) del receptor CC-CKR5.[8] Por sorpresa para los investigadores, la ausencia de receptores funcionales no tiene ninguna consecuencia nefasta. Mejor aún, esta mutación, supuestamente protectora, podría estar presente en un 1 % de las personas blancas de origen caucasiano; no se ha encontrado en las poblaciones africanas ni japonesas, según los recientes resultados de un equipo de investigadores dirigido por Marc Parmentier, de la Universidad Libre de Bruselas.[9] ¿Por qué no se intenta bloquear químicamente este receptor para impedir o limitar la infección?

Otro camino podría ser la obtención de un pequeño modelo animal de la enfermedad. Menos caro que el modelo único actual, los primates, debería interesar a muchas firmas farmacéuticas. La idea es crear ratones transgénicos en los cuales se habría incorporado al mismo tiempo el gen del receptor CD4 y el de uno de los cofactores de entrada. Queda por ver si los animales desarrollarán una infección. «¿Aportaría esto alguna cosa a la comprensión de la enfermedad en el hombre? Aunque el resultado no esté garantizado, es un experimento muy importante de hacer —opina Quentin Sattentau—. Imagino que estos ratones no se obtendrán antes de un año. Después, todo irá muy rápido».

¿Se ha terminado la cosecha de los cofactores? Entre los especialistas emerge claramente un consenso: aparecerán otros, aunque es probable que ya no tengan el mismo efecto anunciado. Para Quentin Sattentau: «Seguramente ya se conocen los cofactores más importantes. Pero estoy seguro de que se encontrarán otros que desempeñan un papel menor o más sutil». Algunos especialistas son más escépticos, como Pierre Sonigo, del Instituto Cochin de biología molecular. «Pienso que existen de manera permanente centenares de cofactores. Critico esta visión rígida, mecanicista, de la biología molecular. El problema es que el VIH varía mucho, hay un efecto de población, de mezcla. Las especificidades no son tan rígidas como sería de desear.» A falta de esta llave mágica, sin duda los resultados de estos últimos meses han abierto nuevas puertas.

L.S. ■

(3)
H. Deng *et al.*, *Nature*, 381, 661, 1996.
(4)
T. Dragic *et al.*, *Nature*, *ibid*, p. 667.
(5)
G. Alkhabit *et al.*, *Science*, 272, 1955, 1966.
(6)
H. Choe *et al.*, *Cell*, 85, 1.135, 1996.
(7)
B.J. Doranz *et al.*, *ibid*, 1.149.
(8)
R. Liu *et al.*, *Cell*, 86, 367, 1996.
(9)
M. Samson *et al.*, *Nature*, 382, 722, 1996.

¿UNA VACUNA CONTRA LA SHIGELOSIS?

Corinne Pezard

Provoca la muerte de cien mil a un millón de niños cada año

CORINNE PEZARD es periodista científica.

Menos conocida que el cólera, la shigelosis, también llamada disentería bacilar, causa no obstante casi un millón de muertos en el mundo. Por primera vez, en Estados Unidos y en Israel, se están ensayando en el hombre vacunas fabricadas por ingeniería genética

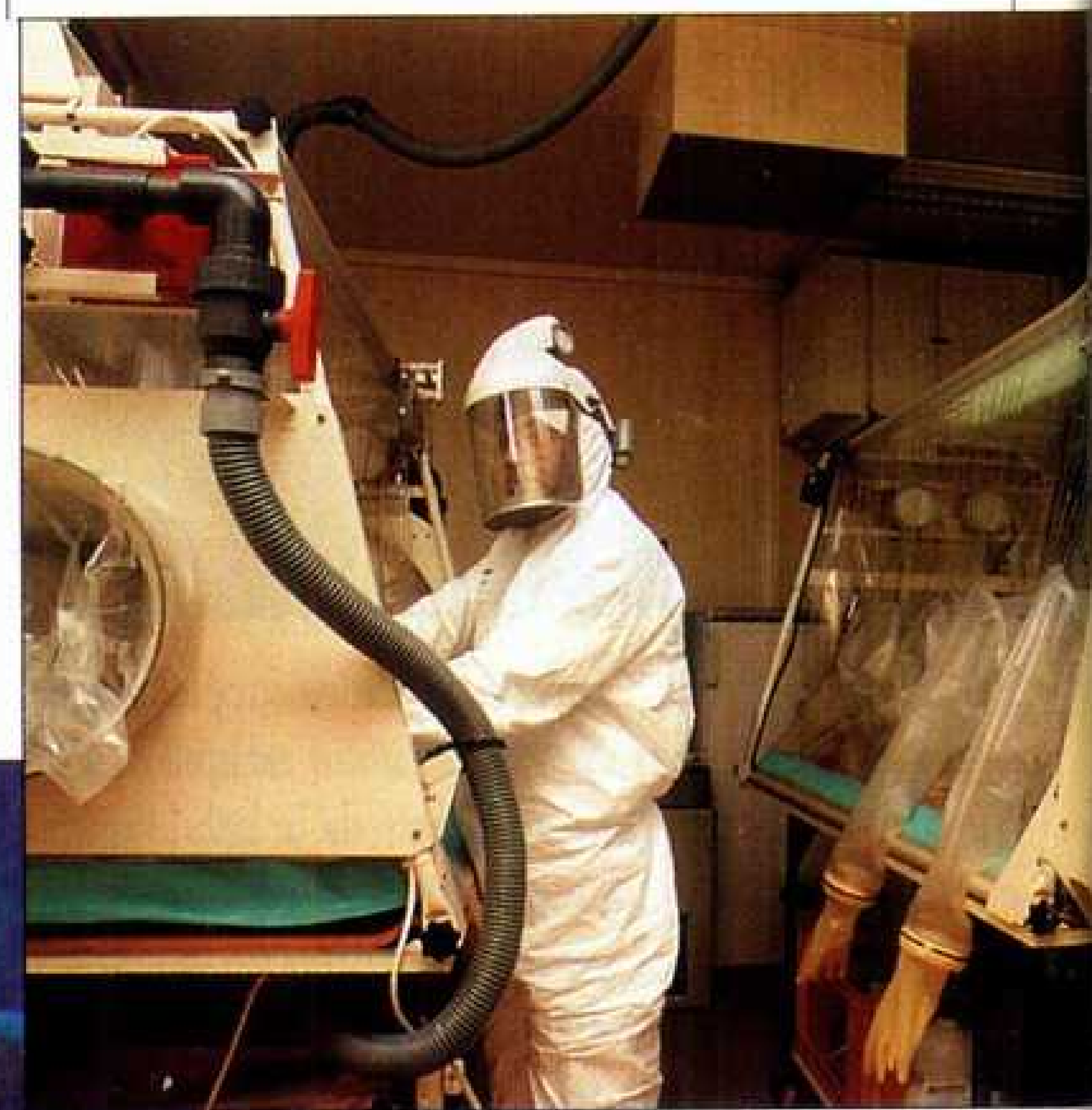
«El conjunto de enfermedades diarreicas provoca 3,8 millones de muertes en el mundo entre los niños de menos de 5 años», afirma Maria Neira, responsable de este tipo de epidemias en la OMS (Organización Mundial de la Salud). En el banco de acusados, virus (particularmente rotavirus), bacterias y parásitos, son los responsables de infecciones alimentarias tóxicas como la tifoidea, la salmonelosis o el cólera. Solamente la shigelosis mata cada año de seiscientos mil a un millón de niños. «Los que sufren malnutrición son todavía más vulnerables», añade Awa Kane Aidera, jefe del laboratorio de las enfermedades diarreicas en el Institut Pasteur de Dakar.

¿Cuál es el origen de la shigelosis? Un bacilo de la familia de las enterobacterias (microorganismos del tubo digestivo). Fue en 1988 cuando el bacteriólogo japonés Kiyoshi Shiga aisló las primeras especies de este grupo, bautizado por ello *Shigella*. El germen vive exclusivamente en contacto con el hombre, que lo adquiere al tomar alimentos o bebidas contaminadas por heces. La contaminación también se produce directamente de individuo a individuo. Entre las cuatro especies clasificadas, hay dos que son particularmente temibles: la *Shigella flexneri*, responsable de la forma endémica de la enfermedad, y, sobre todo, la *Shigella dysenteriae* de serotipo 1 (Sd1), la más temible, que provoca epidemias y enormes mortandades, con defunciones que llegan al 20 %.[1] Ambas son extremadamente infecciosas: de 10 a 100 bacilos son suficientes para inducir la enfermedad. Dolores abdominales febriles, diarreas hemorrágicas y heces mucopurulentas, son sus síntomas característicos. Al cabo de algunos días, los casos más graves mueren en estado de *shock* producido por perforaciones intestinales o complicaciones renales.

A diferencia de otras enfermedades diarreicas, especialmente el cólera, la rehidratación no basta para salvar a un niño infectado por *Shigella*. En efecto, la bacteria no se limita a producir una grave deshidratación del organismo, sino que ataca también la mucosa del colon: en ella provoca una intensa reacción inflamatoria que conduce a la destrucción de la zona infectada (véase el recuadro «Las shigellas»). Para su tratamiento, los antibióticos son eficaces, pero plantean importante problemas de resistencia bacteriana.[2] «Últimamente, en Senegal —explica Awa Kane Aidera—, el germen se ha hecho resistente al Bactrim, por lo que nos vemos obligados a utilizar otros antibióticos, especialmente cefalosporinas, que, desafortunadamente, son demasiado onerosas para la población».

La investigación de una vacuna antishigelosis se remonta a los años 1950. En aquella época —y todavía es válido hoy en día— se trataba de encontrar una cepa viviente atenuada, es decir, un mutante de *Shigella* de menor virulencia (que no provocase la enfermedad). Hasta los años 1980 se ensayaron varios mutantes en el hombre y en el animal. Pero ninguno de ellos tenía poder inmunizante.[3] En 1988, la esperanza renació cuando Alf Lindberg, vacunólogo en el Instituto Karolinska de Huddinge (Suecia), logró fabricar por ingeniería genética un mutante de *Shigella flexneri*, capaz de proteger a los monos macacos. Con la realización de un ensayo en unos treinta voluntarios vietnamitas, se comprobó que el mutante era inofensivo para el género

(1) G. Keusch y M. Bennish, *Bacterial disease of Humans*, A.S. Evans y P. Brachman (eds.), Plenum Press, Nueva York, 1958.
(2) J. Murray y D. Espey, *Sentinel disease surveillance and antibiotique resistance patterns of Shigella dysenteriae type 1 in Burundi*, Final report, CDC, Atlanta, EE.UU., 1994.
(3) A. Lindberg y T. Pal, *Vaccine*, *11*, 173, 1993.





La manipulación de las cepas de bacterias *para fabricar vacunas, requiere infinitas precauciones (arriba). ¿Se aprovecharán algún día estos experimentos para las poblaciones más expuestas? (A la izquierda, un campo de refugiados ruandeses en Zaire.) (Fotos Institut Pasteur y Haley/Sipa-Press.)*

LAS SHIGELLAS

En la mucosa del colon, las bacterias atacan a los macrófagos (glóbulos blancos) y los empujan al suicidio (apoptosis). Justo antes de morir, liberan una cantidad masiva de interleuquina 1, una sustancia que desencadena una reacción inflamatoria muy precoz. Entonces, se crea un círculo vicioso que conduce, por un efecto de «bola de nieve», a la destrucción de los tejidos. ¿Cómo logran las shigellas invadir y destruir el colon? Empiezan por fabricar masiva y rápidamente unas proteínas que les permiten introducirse en las células del colon. En ellas se multiplican intensamente y, de repente, pueden realizar movimientos bruscos que, a menudo, las propulsan a una célula adyacente. Este comportamiento es muy sorprendente, porque las shigellas son inmóviles por naturaleza, porque carecen de flagelo. ¿Cómo adquieren la facultad de moverse? Las shigellas pueden reunir en uno de sus polos filamentos de actina, la mayor proteína del citoesqueleto. De esta manera forman una cola de actina que, como un motor, las propulsan hacia delante a la velocidad de un micrómetro por segundo.



El género Shigella *comprende cuatro especies:* S. boydii, S. dysenteriae, S. flexneri *(en la foto)* y S. sonnei. *En las regiones tropicales predominan* S. flexneri y S. dysenteriae. S. dysenteriae *produce una toxina llamada «Shiga toxine», cuya manera de actuar todavía se desconoce. Sin embargo, se sabe que es la responsable de las disenterías más graves. (Foto Instituto Pasteur.)*

gellas», explica Philippe Sansonetti. Pero los estudios en el hombre son de difícil realización, porque la manipulación de una vacuna viva plantea problemas técnicos, éticos y financieros. En Europa, por ejemplo, no existen instalaciones de alta seguridad diseñadas para la evaluación de este tipo de producto. ¿La solución? Una colaboración con Thomas Hale, del Instituto de investigación del ejército *Walter Reed* en Washington. Anunciados con más de un año de antelación, los ensayos empezaron finalmente en septiembre de 1995 en los laboratorios de «alta seguridad» del ejército de Estados Unidos en Fort Detrick (Maryland).

Para conocer la toxicidad del producto, unos treinta voluntarios repartidos en varios grupos recibieron oralmente dosis progresivamente crecientes de cepas vacunantes: diez, cien, mil... ¡hasta cien millones! La vacuna resultó ser relativamente poco tóxica, porque sólo con las dosis extremas fue cuando los voluntarios empezaron a experimentar malestares, en particular problemas digestivos, que recordaban los de la disentería bacilar. Los investigadores no ocultan su satisfacción ante los primeros resultados registrados. «Como el macaco, el ser humano es capaz de producir anticuerpos de tipo IgA en la mucosa entérica, incluso con las dosis pequeñas de bacterias, para las que no existe ningún problema

todavía más cierto para las poblaciones de bajo nivel higiénico, infectadas por numerosos microorganismos (pseudomonas, salmonelas, rotavirus, etc.).

Otra estrategia más segura, pero más difícil de establecer, consiste en utilizar un fragmento de la bacteria (antigen) que desencadene una fuerte respuesta inmunitaria. El lipoliosida de las shigellas es un candidato muy claro. Anclado en la membrana bacteriana, esta molécula induce en la mucosa del colon la formación de anticuerpos de tipo IgA, capaces de proteger a los ratones contra la shigelosis.[8] John Robbins, investigador en los NIH (*National Institutes of Health*) de Bethesda, se ha comprometido en la fabricación de vacunas a base de lipopoliosida. Para aumentar su eficacia protectora, las ha acoplado a diversos fragmentos de bacterias: toxina inactivada de *Clostridium tetani* (tétanos) o de *Pseudomonas aeruginosa* (infecciones respiratorias).

En el hombre, estas vacunas «híbridas» inducen unos índices de anticuerpos tan elevados como los desarrollados por los individuos que han sobrevivido a una infección.[9] En 1955, John Robbins empezó la evaluación de la vacuna en reclutas del ejército israelí en Tel-Aviv. Hasta ahora, el autor se ha mantenido en silencio sobre la estrategia de vacunación que ha adoptado. Según las últimas informaciones, podría haber obtenido un índice de

INSTITUTO PASTEUR (VILLENEUVE D'ASQ-59)
Puertas abiertas: visita al laboratorio de microbiología e higiene alimentaria.

humano.[4] ¿Pero tiene poder inmunizante? Nadie lo sabe todavía, a falta de medios e infraestructuras para realizar un estudio clínico a largo plazo.

Philippe Sansonetti y sus colegas del Instituto Pasteur de París se unieron a esta vasta empresa. En los dos últimos años han identificado varios genes que intervienen en la virulencia de la bacteria, lo que les ha permitido crear una cepa como vacuna de *Shigella flexneri*, portadora de dos mutaciones: la primera bloquea la diseminación de la bacteria de una célula a otra en el colon y la segunda impide la multiplicación bacteriana en los tejidos.[5,6] En el macaco, el mutante es capaz de inducir la formación de anticuerpos de tipo IgA en la mucosa del colon. Estas moléculas son las únicas que pueden impedir la acción destructora de las shigellas. Además, se las encuentra en las personas que, por vivir en regiones de fuerte endemia, han adquirido una inmunidad natural contra las shigellas. En consecuencia, representan un índice favorable de la buena calidad de una vacuna antishigelosis.[7]

Sin embargo, «el macaco no constituye un modelo experimental satisfactorio para realizar ensayos de vacunación, porque este animal es poco sensible a las shi-

LAS REGIONES POBRES Y SUPERPOBLADAS

La shigelosis castiga sobre todo las regiones pobres y superpobladas, donde las condiciones de higiene son a menudo defectuosas. Poco mediatizado, pero muy devastador, este flagelo afecta regularmente, desde hace más de quince años, a los países del África Central.[10] «En agosto y septiembre de 1994, en Zaire, Tanzania y Ruanda, los campos de refugiados políticos de Burundi han sido diezmados por la shigelosis. En el campo zaireño de Katate, se han infectado más de la mitad de niños de menos de 5 años», manifiesta Christophe Paquet. Como indicador del nivel de higiene, la shigelosis también afecta a los países desarrollados en los que existe una brecha en los sistemas de canalización de alcantarillas o una anomalía en la cadena alimentaria del frío.

de toxicidad», comenta Philippe Sansonetti.

Pero una de las mutaciones que hace inofensiva a la bacteria la lleva un plásmido, una molécula de DNA totalmente autónoma del resto del genoma. Las shigellas pueden perderla durante su diseminación por el organismo y, en consecuencia, pueden volver a ser peligrosas. Además, para ser eficaz, la vacuna, un organismo vivo, debe ser capaz de sobrevivir en el colon. La competición de la cepa que actúa como vacuna con otros patógenos intestinales que se multiplican más rápidamente podría limitar la eficacia de la vacuna sobre el terreno. Esto es

protección del orden del 70 %. Unos resultados que, hasta el momento, no han sido confirmados.

Como son bien toleradas en el hombre y producen anticuerpos protectores, las vacunas prototipo que se están ensayando en Estados Unidos y en Israel parecen prometedoras. Sin embargo, es necesario mantenerse lúcido en cuanto a su eventual impacto sobre un plano mundial: «El tercer mundo no es un mercado puntero para las empresas farmacéuticas», recuerda Christophe Paquet, del grupo europeo de expertos en epidemiología práctica (Epicentre), colaborador de MSF (Médicos sin Frontera).

C.P. ■

(4) A. Li *et al.*, *Vaccine 11*, 180, 1993.
(5) C. Parsot, *Current topics in Microbiology and Immunology*, *217*, 1994.
(6) P. Sansonetti y J. Arondel, *Vaccine*, *7*, 443, 1989.
(7) J. McGhee *et al.*, *Vaccine*, *10*, 75, 1992.
(8) A. Phalipon *et al.*, *J. Exp. Med.*, *182*, 769, 1995.
(9) D. Taylor *et al.*, *Infect. and Imm.*, *61*, 3.678, 1993.
(10) C. Paquet *et al.*, *Cahier Santé*, *5*, 181, 1995.

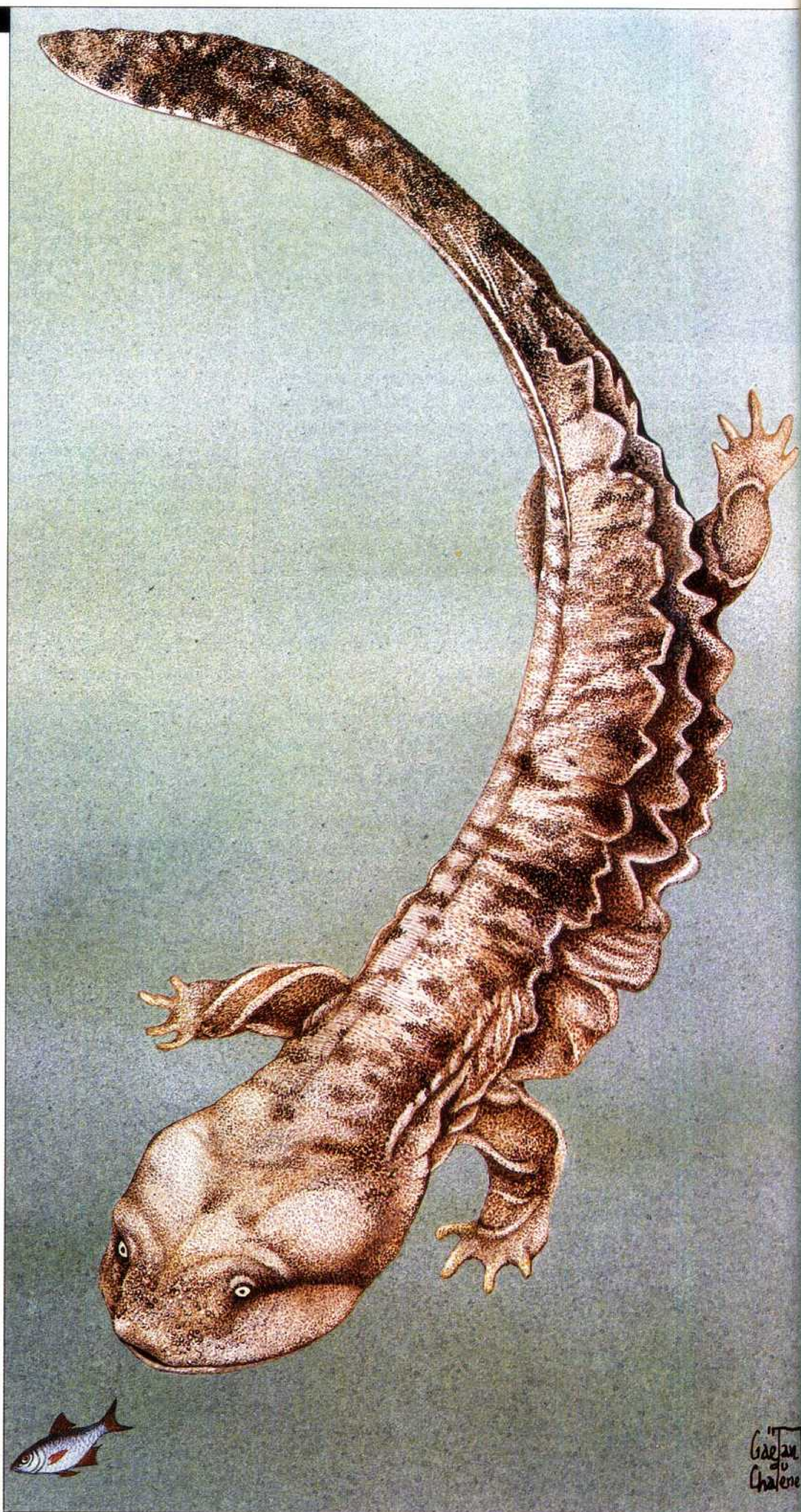
UN GIGANTE CON MIRIÑAQUE

Stéphane Deligeorges

La gran salamandra de China, campeona absoluta de los batracios

STÉPHANE DELIGEORGES es periodista científico.

Como todos los anfibios, la salamandra de China se presenta como un resumen espectacular de la evolución: empieza como una larva nadadora de respiración branquial y acaba como un tetrápodo dotado de pulmones. Por su tamaño y longevidad excepcionales, *Andrias davidianus* ha desconcertado a los occidentales, que todavía no han terminado de descubrirlo...



En la semana del 14 de noviembre de 1859, el zoológico del Museo de Historia Natural de París registró un gran éxito de público. La curiosidad de los parisienses estaba motivada por el descubrimiento de un monstruo gigantesco llegado de los más remotos confines de la Tierra: una salamandra endémica de Extremo Oriente, cuyo tamaño, 79 cm, y figura eran extravagantes. Este batracio relegó a su primo lejano de Europa, de 20 cm por término medio, a la condición de liliputiense. Su llegada a través de las «Indias neerlandesas» (la actual Indonesia) había sido solemnemente anunciada por la Academia de ciencias.[1] Esta *Salamandra maxima*, como se la llamó entonces, resultó muy longeva: a finales de siglo todavía se la podía ver en su charca. Su nombre exacto actual es *Andrias japonicus*, de la familia *Cryptobranchidae*.

Pero esta salamandra, algunos de cuyos ejemplares alcanzan 1,50 m, no es «maxima». La gran campeona de los batracios es su prima de China, que alcanza 1,80 m y a veces más. Su longevidad es excepcional: cincuenta años y probablemente más, cuando la edad media de los anfibios se encuentra entre los cinco y los quince años. Su nombre es *Andrias davidianus* y por ella nos interesaremos aquí. Ante todo por su singularidad biológica, pero también por su descubrimiento y su descripción. Nos puso sobre la pista un artículo de Michel Thireau, investigador del Laboratorio de reptiles y anfibios: «La llegada al Museo de animales tan extraordinarios como las grandes salamandras de Extremo Oriente y el ajolote de México ilustra cómo su descubrimiento es una alegría compartida por investigadores, viajeros-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XIX, 750, 1859.

naturalistas y profanos».[2] Este batracio, en efecto, está en el centro de una serie de extraordinarios viajes exploratorios. Nos lo revelerá su nombre de especie, *Davidianus*. El nombre procede del padre David, gran descubridor de faunas y floras de China y del Tíbet. La narración que nos ha legado tiene casi tanta calidad como los grandes relatos de viajes de A. de Humboldt en las Américas. Todo empezó cuando David, lazarista, fue designado, en el año 1861, por su orden para ir a China. En aquella época, el gobierno francés deseaba abrir escuelas en Pequín.

En París, los profesores del Museo le encargaron envíos. David era geólogo experto, pero añadía a ello unas competencias de naturalista tan variadas como precisas. En 1862, sus primeros envíos fueron tan ricos que los científicos consiguieron que su orden le eximiera de todo ministerio apostólico. En su segundo viaje, descubrió la gran salamandra de China. En el tercer viaje de exploración, escribió lo siguiente, el 4 de abril de 1873, donde se aprecia perfectamente su estado de ánimo: «Esta noche han llegado, antes de la tormenta y más tarde de lo que esperaba, mis dos cazadores en misión de exploración. Su viaje no ha sido en balde, pues me traen cinco *Oa-oa yu* vivos. Las salamandras, una de las cuales mide ya cerca de dos pies [65 cm] de largo, son idénticas al *Sieboldia davidi*, de Chong-Pa [...] Los chinos sólo aprovechan la piel de *Sieboldia*, que venden a los farmacéuticos; raramente comen su carne, blanca y nauseabunda, como yo mismo he tenido ocasión de experimentar»[3]

El descubrimiento fue importante para la ciencia naturalista europea, pero, por lo que se ve, no fue así para la tradición de la cultura china.

En los años 1930, un investigador chino, Mangven L.Y. Chang, trabajaba en París sobre salamandras. Este investigador se decidió a consultar minuciosamente el fondo chino de libros antiguos conservados en la Biblioteca Nacional y descubrió entonces la antigüedad de la descripción de nuestra salamandra. «El pasaje más antiguo donde se habla de la salamandra gigante es el del *Chan-Hae-Kin* o *Documentos de los mares y las montañas*. El libro era atribuido al rey Yû, que vivía hacia el año 2200 a.C., pero actualmente se considera que fue escrito por un autor anónimo.» Este autor escribe lo siguiente: «En los riachuelos de Ille-tzu [provincia de Chan-si] moran numerosos Ny-yû; su forma es parecida a la de la serpiente, pero Ny-yû tiene cuatro patas y se alimenta de peces».

Chang observa también: «Unos discípulos del gran sabio chino Confucio (551-479 a.C.) retomaron esta definición [...]. Hacia 1120, Koeutzeun-pi disecó el animal [...]».[4]

En definitiva, como muestra Chang, nuestra salamandra era conocida por los chinos desde hace bastante tiempo. Curiosamente, en Europa existen ejemplares fósiles de este animal extraordinario que vivieron en el mioceno. Entre ellos, la «gran salamandra fósil de Oeningen», determinada por Georges Cuvier, en la que se quiso ver, durante el siglo XVIII, al *Homo diluvii testis* (el hombre testigo del diluvio) debido al aspecto del esqueleto. Dicho esto, ¿qué sabemos exactamente de nuestra campeona?

Contrariamente a la de otros anfibios, la metamorfosis de la gran salamandra no es completa

Este animal, que la literatura de divulgación califica invariablemente de «grotesco», es un ser muy impresionante. Así se aprecia en dos ejemplares que hemos visto en el Museum, uno vivo y el otro disecado. Ya sea chino o japonés, *Andrias davidianus* tiene una cabeza muy ancha y plana, con el hocico redondeado. Los ojos son minúsculos, sin párpados, y contrastan con una boca muy grande que se abre por los lados. Se trata de un animal muy tragón. Sus miembros son cortos y gruesos; los anteriores llevan cuatro dedos y los posteriores cinco. La cola es más corta que el tronco y está comprimida lateralmente como en muchas salamandras acuáticas. Se trata de una criatura gris, con el lomo a menudo jaspeado de negro.

Estos enormes anfibios disponen de un modo de reproducción original. El desove tiene lugar a partir del mes de agosto. Machos y hembras ejecutan entonces algunas paradas nupciales, tocándose al tiempo que realizan a veces un movimiento vibratorio con su cuerpo. Luego, el macho elige la zona de desove, que abre bajo una roca. La hembra deposita allí dos largos rosarios de huevos, entre cuatrocientos cincuenta y novecientos. Cada uno de estos huevos está unido a los demás por un largo hilo pegajoso que se solidifica en contacto con el agua y se adhiere a la roca. En el nido del macho pueden depositar sus huevos varias hembras. El macho los fecunda rociándolos con una nube de líquido seminal lechoso. Luego, con unos movimientos apropiados, convierte la puesta en una bola que mantiene en un agua clara y bien oxigenada. *Andrias davidianus* es un padre puntilloso que impide el acceso a su territorio a cualquier otro macho, así como a toda hembra que haya puesto. Sólo acepta las hembras grávidas. Los huevos se abren al cabo de unos cincuenta días, en cuyo momento las larvas miden 2,5 cm.

Unos tres años después, cuando su tamaño es de unos 20 cm, la larva acuática se convierte en tetrápodo juvenil (dotado de miembros). Las branquias se atrofian y aparecen los pulmones. Contrariamente a otros anfibios, no se produce aquí una metamorfosis completa, ya que la gran salamandra no se desprende de ciertos caracteres juveniles, sobre todo en lo tocante a dentición. La gran salamandra adulta respira pulmonarmente, pero pasa el día debajo del agua. La pérdida de las branquias es compensada por una fuerte respiración cutánea. Por ello, el animal presenta en los flancos un gran repliegue cutáneo, una especie de miriñaque, que, al aumentar la superficie cutánea, produce una mayor absorción de oxígeno.

La madurez sexual no se alcanza hasta los cinco o seis años. El individuo mide entonces 55 cm. Como indican Robert C. Stebbins y Nathan W. Cohen en su obra, las trescientas ochenta especies de salamandras descritas abarcan desde *Thorius pennatulus (The Mexican lungless salamander)*, animal de 4 cm, hasta *Andrias davidianus*, que alcanza 1,80 m.[5] En este orden, como se ve, el abanico de tamaños y proporciones es uno de los más extensos.

Como es sabido, las leyes de escala impiden, entre semejantes extremos, la simple replicación proporcional de los parámetros anatómicos, fisiológicos y metabólicos.[6] Es muy probable, pues, que nuestra gigante china presente unas peculiaridades que la distinguen de sus semejantes más pequeños.

Lamentablemente, la literatura primaria sobre los gigantes asiáticos es muy limitada. Hemos consultado el *Zoological record*, que censa anualmente todas las publicaciones dedicadas a cada especie. El análisis de los últimos años nos ha convencido de que la mayor parte de las investigaciones sobre *A. davidianus* y *A. japonicus* son obra de naturalistas chinos y japoneses; los *english summaries* carecen de indicaciones precisas. ¿Habrá que estudiar ideogramas para completar el artículo? ¿Habrá que tratar de transmitir nuestra curiosidad a alguien que entienda de ellos? Por el momento, poco más podemos hacer. La antigua fascinación que ejerce la salamandra (los antiguos creían que era resistente al fuego), alimentada por la ignorancia, tardará en extinguirse.

S.D. ■

(2) «Place des grandes salamandres d'Extrême Orient et de l'Axolotl du Mexique dans l'histoire du Muséum de Paris au XIX siècle», *Histoire et nature*, *21*, 3, 1982.

(3) *Journal de mon troisième voyage d'exploration dans l'Empire chinois*, t. II, 20, Lahure, París, 1875.

(4) *Bulletin de la société zoologique de France*, t. LX, 347, 1935,.

(5) *A Natural History of Amphibians*, Princeton University Press, 1995.

(6) Véase «El origen del más viejo amigo del hombre», *Mundo Científico* , nº 171, septiembre, 1996 y «En el límite de lo pequeño», *Mundo Científico*, nº 173, noviembre, 1996.

Ilustración de Gaëtan de Chatenet.

NOVEDADES SOBRE EL ORIGEN DE LAS ESPECIES

por TaMaRa*

El paradigma darwiniano y el análisis molecular de las bacterias

* Acrónimo de los nombres de François Taddei, Ivan Matic y Miroslav Radman.

FRANÇOIS TADDEI es ingeniero de montes, aguas y bosques. **IVAN MATIC** es encargado de investigación en el CNRS.

Las bacterias practican una sexualidad primitiva, pero particularmente eficaz, que les permite adaptarse a los ambientes hostiles. Dos sistemas de reparación del DNA tienen un papel fundamental: el SRE y la respuesta SOS. Actuando sucesivamente o «de acuerdo», organizan la capacidad de una población de bacterias para reaccionar frente a una situación de estrés. La puesta en práctica de estos dos sistemas puede inducir a un proceso de especiación. Lo mismo ocurre, quizá, en los eucariotas, practiquen o no una sexualidad compleja.



MIROSLAV RADMAN es director de investigación en el CNRS. Los tres trabajan en el Laboratorio de Mutagénesis del Institut Jacques-Monod, Universidad de París-VII, París.

(1)
J.-M. Smith, *Nature, 324*, 300, 1986.
(2)
E. Mayr, *The Growth of Biological Thought: Diversity*, Evolution and Inheritance, Harvard University Press, 1982.
(3)
J.-M. Smith y E. Szathmary, *The Major Transitions in Evolution*, W.H. Freeman, Oxford, 1995.
(4)
C. Rayssiguier, D.S. Thaler y M. Radman, *Nature, 342*, 6.248, 396, 1989.

Según una opinión muy extendida, la sexualidad es una ventaja decisiva para la supervivencia de una especie determinada. Esto la convierte en un motor de la evolución. La realidad, sin embargo, reserva ciertas sorpresas: algunas especies pueden muy bien prescindir del sexo y no por ello parecen estar condenadas a desaparecer. Matthew Meselson, el célebre biólogo de Harvard, ha demostrado que habitantes microscópicos de las aguas no corrientes, unos rotíferos llamados «bdeloides» que son como una especie de comas con hélice, carecen en absoluto de vida sexual y que esto ha sido así desde hace entre 40 y 80 millones de años, un periodo que ha visto el episodio de la extinción de los dinosaurios. Por una razón desconocida, han renunciado a este placer. Se trata de unos animales cuyo genoma está constituido por el mismo material que el nuestro, una doble hélice de DNA, y que se reproducen por clonación. Coexisten tranquilamente con otras especies de rotíferos que, por su parte, han recurrido siempre a la reproducción sexuada. Se nutren de bacterias y son increíblemente resistentes: si el agua en la que viven se seca, pueden resistir en el gel incluso a temperaturas muy altas. De estos rotíferos se conocen quinientas especies. Se encuentran en todos los continentes y en los medios más hostiles, incluso en los intestinos. En palabras del conocido biólogo británico John Maynard Smith, un especialista de la evolución, los rotíferos bdeloides son un «escándalo evolucionista»,[1] puesto que nos obligan a que nos preguntemos si la ausencia de vida sexual representa verdaderamente una desventaja.



Contrariamente a otra opinión muy corriente, las bacterias tienen sin duda alguna una vida sexual que fue descrita hace más de cuarenta años por Joshua Lederberg, Elie Wollman y François Jacob. Estos seres no tienen necesidad de la sexualidad para reproducirse, ya que simplemente lo hacen por división celular. Pero en ocasiones pueden intercambiar genes, que es una forma de sexualidad primitiva. Para practicarla, disponen principalmente de dos mecanismos. En el primero, un plásmido, bucle de DNA independiente del cromosoma, que se encuentra en el citoplasma, codifica unas proteínas que permiten que una bacteria se una a otra. A continuación, el plásmido atraviesa las dos paredes bacterianas y se instala en la otra bacteria. Si está asociado al cromosoma de la bacteria de origen, puede llevarse consigo una parte, la cual, seguidamente, es susceptible de recombinarse con el cromosoma de la célula huésped. Es lo que se llama la conjugación, un proceso por el cual pueden ser transferidos varios centenares de miles, e incluso millones, de bases. Segundo mecanismo: un virus pasa de una bacteria a otra llevándose un fragmento del cromosoma de la primera. Es lo que se llama transducción, que permite transferir varias decenas de millares de bases. Existe todavía un tercer modo de intercambio de genes entre bacterias: la transformación, mediante la cual son transferibles, como máximo, algunos millares de bases. Parece ser menos corriente, por lo que aquí no lo trataremos. Por el momento, recordemos tan sólo que en las bacterias la sexualidad es facultativa.

Decir sexualidad es decir selección de pareja. Como puede suponerse, una bacteria no intercambia sus genes en un momento cualquiera ni con una bacteria cualquiera. A juzgar por lo que sucede en el mundo del ser vivo, en principio, únicamente puede hacerlo con una bacteria de la misma especie. Pero, ¿qué significa el concepto de especie en el universo bacteriano? Según la definición, ya clásica, propuesta por Ernst Mayr, una especie es un conjunto de individuos fecundos entre sí y solamente entre sí. Por tanto, están aislados de los otros grupos de seres vivos.[2] Es en este sentido que hablamos de especie humana, aunque, y siempre en este mismo sentido, es ya menos evidente que lobos y perros se consideren pertenecientes a la misma especie. En el caso de las bacterias, esto quiere decir que solamente las que son capaces de intercambiar genes son de la misma especie. Pero, la realidad es más complicada. John Maynard Smith, por ejemplo, duda en aplicar el concepto de especie al mundo bacteriano.[3] Una de las objeciones es que existen flujos de genes en las bacterias consideradas como de especies diferentes.

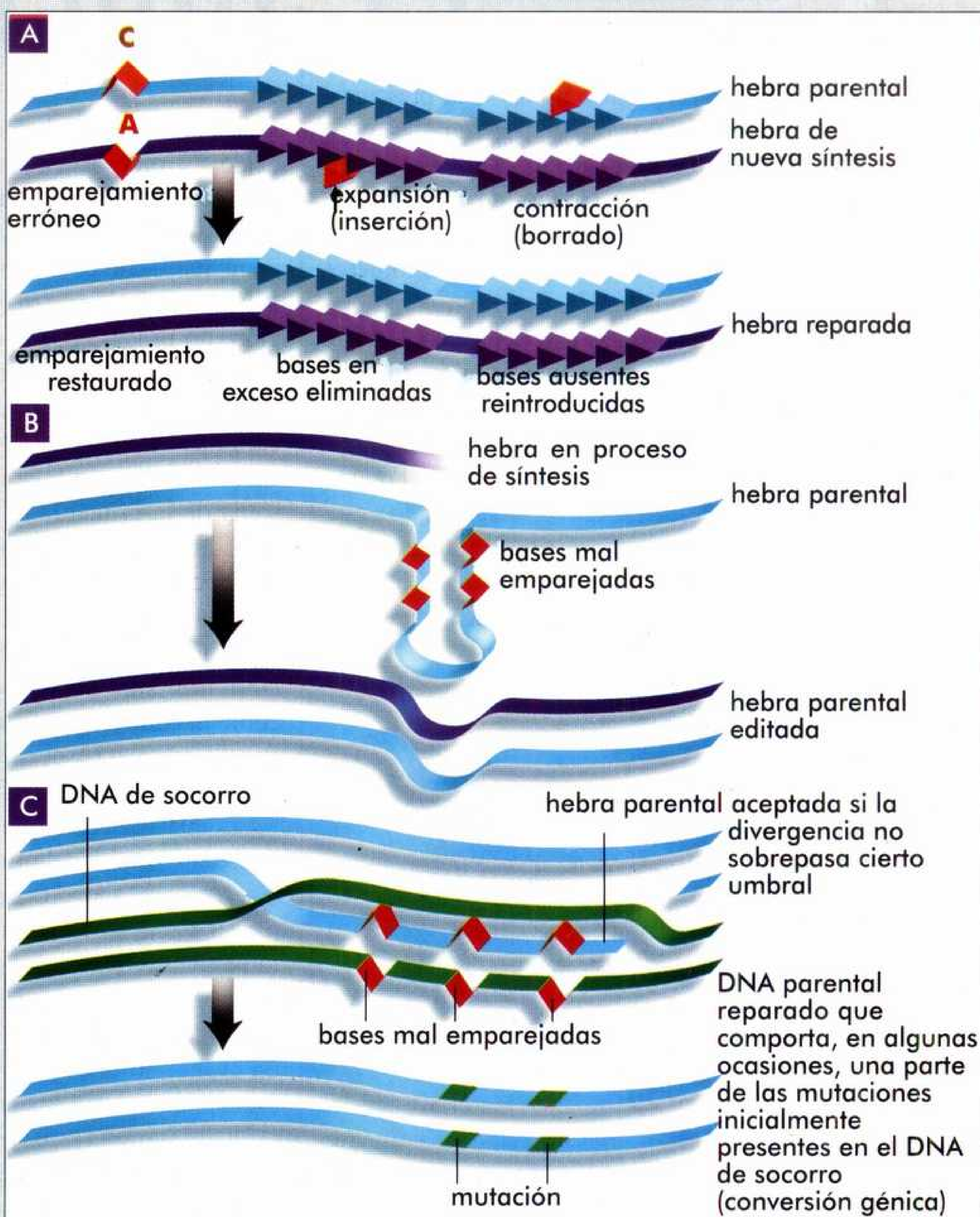
El estudio de los flujos de genes entre bacterias se ha convertido durante estos últimos años en un campo de investigación en sí mismo, un campo que ha aportado resultados fundamentales, algunos de los cuales arrojan una luz nueva sobre lo que Darwin denominaba el origen de las especies y también las interacciones entre los genes y el medio ambiente. El modelo más estudiado corresponde a las interacciones entre las dos «especies» de bacterias mejor conocidas por los especialistas en genética: *Escherichia coli* y *Salmonella typhimurium*. Se piensa que estas dos especies empezaron a divergir a partir de un antepasado común hace 150 millones de años, aproximadamente, por tanto, en el momento de la aparición de los primeros mamíferos. Son, pues, bacterias hermanas en el sentido en que han conservado en común más del 80 % de su DNA. Entre los genes presentes en las dos especies citadas, la divergencia entre las secuencias es, aproximadamente, del 16 %.

La inactivación de un solo gen aumenta en un factor mil el índice de recombinación entre las dos especies de bacterias

En general, no obstante, la divergencia citada basta para impedir el intercambio de genes entre estas dos bacterias. Tanto el análisis de las secuencias de DNA como las experiencias en laboratorio demuestran que la frecuencia de acontecimientos de recombinación es muy baja: cien mil veces menor que la frecuencia de las recombinaciones con el exterior de estas dos especies. Por consiguiente, existe una barrera de especie, aunque a veces puede ser franqueada. Ahora bien, según se ha demostrado, esta barrera depende de una manera muy directa y precisa de un reducido número de genes. Si estos pocos genes son inactivados, la barrera salta. Dos de estos genes tienen un papel fundamental. Concretamente, inactivando en laboratorio uno de estos dos genes, es posible aumentar en un factor mil el número de recombinaciones entre estas dos especies.[4]

El reducido grupo de genes en cuestión es uno de los sistemas de reparación del DNA. Durante la división celular, el cromosoma está sometido a unas presiones importantes que, eventualmente, pueden aumentar a causa de las agresiones propiciadas por el medio ambiente. Existen diversos sistemas de reparación, destinados a reordenar varios tipos de alteración: lesiones químicas y errores de copia. Un error corriente es el apareamiento erróneo. Esto ocurre cuando dos bases de la molécula de DNA se encuentran mal aparejadas. En principio, los emparejamientos de bases descritos por Crick y Watson son A-T y C-G (adenosina-timina y citosina-guanina). Si A no está frente a T, sino frente a C o G, hay un problema, ya que la información que llevan las dos hebras de la molécula de DNA no es idéntica, lo mismo que cuan-

CÓMO ACTÚA EL SISTEMA DE REPARACIÓN DE LOS EMPAREJAMIENTOS ERRÓNEOS (SRE)



La molécula de DNA es una hélice de dos hebras cada una de las cuales comporta en su lado exterior una sucesión de pares azúcar-fosfato. A cada uno de estos pares se une por el lado interior una de las cuatro bases cuya secuencia contiene la información genética. Las dos hebras están asociadas entre sí mediante uniones entre las dos bases que están frente a frente. Durante la replicación necesaria para la división celular, el sistema se duplica. Cada hebra se ve doblada con una secuencia complementaria nueva, en principio idéntica a la original. En la realidad, pueden producirse diversos incidentes con las consiguientes anomalías. Existen varios sistemas de reparación. El sistema de reparación de los emparejamientos erróneos (SRE) actúa tanto para reparar errores puntuales del DNA como para controlar lo que se llama la recombinación homóloga.

Reparación de errores puntuales.

A) El SRE actúa mediante unos enzimas que intervienen cuando una hebra de DNA acabada de sintetizar es errónea. La hebra parental sirve de referencia para eliminar estas anomalías de la nueva hebra: base errónea (mutación puntual), base en exceso (expansión) o base ausente (contracción). Las señales que ponen en marcha la intervención del SRE son señales bioquímicas bien localizadas del DNA, que están lejos del lugar del emparejamiento erróneo de bases, y sirven para discriminar el original de la copia.

B) El SRE interviene también en el sentido ascendente de la síntesis, sobre la hebra parental, para prevenir que se produzcan borraduras allí donde existen estructuras secundarias que contienen emparejamientos erróneos de bases (transposones...) El SRE actúa desenrollando la hebra parental.

Preservación de la integridad de la especie.

C) La recombinación homóloga es otro sistema de reparación que interviene cuando las dos hebras se encuentran dañadas a la vez, o bien cuando después de la replicación subsisten errores. En este caso, una proteína especializada (RecA) irá al encuentro, en una molécula de DNA sintetizada durante la replicación, de una región que presenta una identidad de secuencias suficiente respecto a la hebra o las hebras lesionadas, a la vez que efectuará una especie de empalme que permite restituir la información que falta. El SRE garantiza que durante la recombinación entre estas secuencias de DNA parcialmente diferentes (llamadas divergentes), la diferencia no rebase un cierto umbral, lo cual podría provocar una redisposición cromosómica o permitir la recombinación con una secuencia procedente de una especie diferente. Si el SRE está inactivado, el DNA lesionado puede unirse con el DNA procedente de otra especie. Recordemos que la recombinación homóloga es la única manera de reparar el DNA cuando las dos hebras están rotas. La proteína RecA restaurará la secuencia que falta yendo a buscar el original del texto genético en otra molécula de DNA. Esto permite a la polimerasa resintetizar las dos hebras que faltan. La recombinación sólo secundariamente introduce una variabilidad genética creciente. Su objetivo primordial, inmediato, es la reparación.

do una base se encuentra sin otra enfrente: la hélice ya no es perfecta. Estos errores, muy finos, pueden estar provocados por diversos mecanismos. Pero, cualquiera que sea su origen, son identificados por un grupo de proteínas encargadas de corregirlos. Si se presenta un texto de diez líneas en azul sobre una superficie transparente, y luego un texto idéntico en rojo sobre otra superficie transparente y se superponen, inmediatamente destaca un error puntual. Es así como funciona el sistema de reparación de los emparejamientos erróneos. Llamémosle, para simplificar, SRE (existen varias categorías). El SRE compara las dos hélices de cada molécula de DNA de nueva formación y detecta inmediatamente un error puntual. Inactivando genes de este sistema de reparación pudo observarse que, en los coli y las salmonelas, se abría la puerta a recombinaciones importantes, es decir, a intercambios de genes entre dos especies diferentes. Las recombinaciones se producen tanto por medio de plásmidos como por medio de virus. En realidad, basta provocar una mutación en uno u otro de los dos principales genes del SRE, llamados *mutS* y *mutL*, para inhibirlo y dar paso a esta sexualidad interespecífica. En circunstancias normales, la proteína codificada por *mutS* es la que está especialmente encargada de repetir el error de emparejamiento equivocado. El papel de *mutL* está menos claro.

En la naturaleza, el SRE está efectivamente inactivado en el 0,1 % al 1 % de los coli. Evidentemente, inactivar el SRE tiene como efecto principal dejar que los errores de emparejamiento se multipliquen. El número de errores que, normalmente, es en nuestras dos bacterias del 10^{-10} o 10^{-9} por nucleótido replicado, pasa de 10^{-7} o 10^{-6}. La mayor facilidad de recombinación entre el DNA de las dos bacterias se debe al hecho de que *mutS* y *mutL* ejercen también, en tiempo normal, una acción de frenado en las recombina-

ciones posibles. Sin que se sepa exactamente cómo, el SRE tiene el papel de guardián del templo: cuando dos fragmentos de DNA entran en contacto, uno y otro intentan recombinarse, mientras el SRE vela para que la divergencia entre las secuencias no sea demasiado grande. A medida que la divergencia aumenta, la probabilidad de un cruzamiento fértil disminuye y acaba por anularse (véase el recuadro «Cómo actúa el SRE »).

Es posible que la exploración de este sistema abra la vía a un principio de explicación del origen de las especies, o especiación, a nivel molecular. No resulta absurdo imaginar que, en efecto, si por cualquier razón el SRE queda bloqueado, podrían seleccionarse una serie de recombinaciones eficaces que, eventualmente, darían origen a una nueva especie. Esta hipótesis queda reforzada por la existencia de un segundo sistema, llamado SOS, que actúa a la inversa del SRE y tiene un papel complementario.

El sistema SOS se pone en marcha cuando está en peligro la integridad del genoma o, por lo menos, cuando el mecanismo de replicación se bloquea o se frena. Su existencia fue postulada ya a principios de los años 1970 para explicar una multiplicidad de fenómenos para los que, hasta entonces, no se había establecido ninguna relación mutua.[5] Desde entonces, se ha llegado a un conocimiento cada vez más detallado de sus mecanismos a nivel molecular. Está constituido, por lo menos, por unos veinte genes que se coordinan para desempeñar una función reguladora. Es un «regulón». Lo mismo que en el SRE, la respuesta SOS tiene como objetivo principal reparar el DNA. Pero mientras que el SRE repara de manera rutinaria las lesiones puntuales en un número muy pequeño, el SOS se pone en marcha cuando se produce algún acontecimiento que amenaza la supervivencia del genoma. Esto ocurre si el cromosoma está expuesto a ciertos rayos, como los UV, a agentes químicos, a un cambio de temperatura o a una carencia nutricional. La replicación del DNA se hace imperfectamente y aparece DNA de hebra simple. Al igual que el SRE detecta rápidamente una base mal emparejada, el SOS detecta el DNA de hebra simple. El proceso es relativamente complejo (véase el recuadro «Cómo funciona el sistema SOS»). El primer papel lo asume una proteína de choque, la RecA, producida por uno de los genes del regulón SOS. La RecA es también la molécula que hace las veces de faro en todas las operaciones de recombinación, de unión entre fragmentos de DNA idénticos o parecidos.

(5) M. Radman, *SOS repair and environmental aspects of mutagenesis*, editado por L. Prakash *et al.*, 128-142, C.E. Thomas, Springfield, III, 1974.

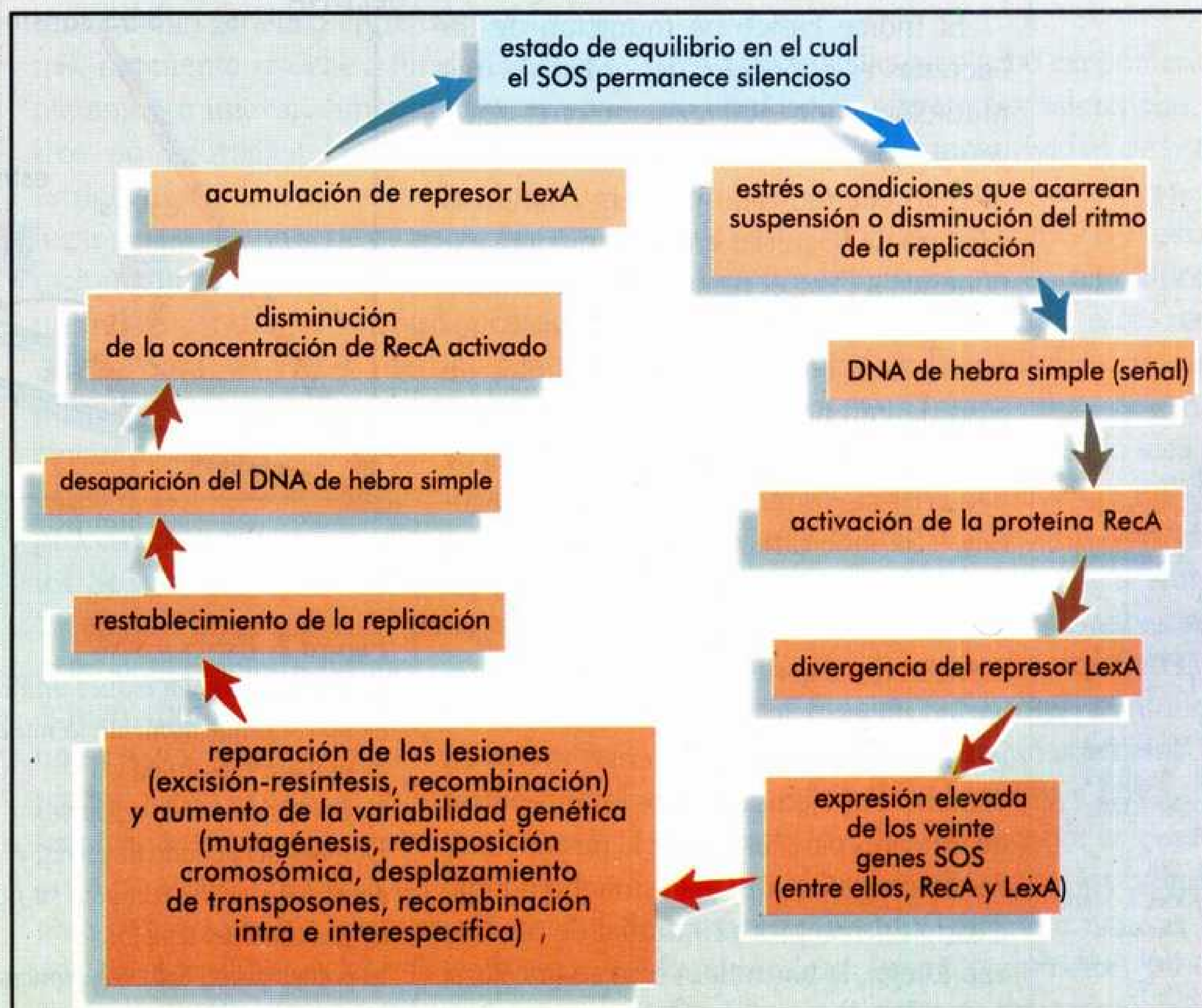
Los dos sistemas, SRE y SOS, actúan sobre la variabilidad genética de manera opuesta: el SRE reprime lo que el SOS activa

En este caso, no hará ninguna recombinación, sino que se unirá al DNA de hebra simple, cambiará de conformación y, finalmente, inactivará una proteína-clave del control, la LexA. El gen «legislador» (en latín, *lex* significa «ley») que codifica esta proteína tiene la misión de inhibir en tiempo real la expresión de los veinte genes del SOS. Pero hay aquí el peligro de la demora: RecA se las arregla para que LexA se rompa, con lo que los veinte genes (entre ellos el que codifica RecA) son liberados. Tan pronto como se activan, efectúan la síntesis de las proteínas correspondientes y se ocupan de reparar las lesiones del genoma. Al hacerlo, cumplen una segunda función: aumentan la variabilidad genética. Y es ahí, nuevamente, donde aparece la relación entre el mantenimiento o no de la integridad de la especie.

Por esto, en una situación de estrés que amenace la replicación fiel del genoma, el sistema SOS actúa en dos frentes. Por una parte, repara por excisión-síntesis y recombinación. Pero también —otro medio de defensa— abre el campo de las posibilidades. ¿Qué hace? Algunos de los genes liberados disminuirán la fidelidad del enzima encargado de replicar el DNA, la polimerasa. Si se compara este trabajo de replicación con el de los monjes copistas de la Edad Media, es fácil observar que, de vez en cuando, un monje comete una falta. Pero, en nuestro caso, el SRE está allí para corregirla. En las situaciones de estrés intenso, el SOS actúa en sentido inverso: estimula la mutagénesis. Es como si se diera a beber un vaso de aguardiente al monje copista: el número de faltas aumenta. El SOS incrementa también la variabilidad genética provocando redisposiciones cromosómicas y activando los transposones, estos genes saltadores que se desplazan de un genoma a otro. Finalmente, el SOS aumenta el número de recombinaciones, incluidas las que se producen entre secuencias de DNA no

CÓMO FUNCIONA EL SISTEMA SOS

El SOS se activa siempre que una situación de estrés acarrea una alteración en la replicación del DNA y la producción de DNA de hebra simple que sirve de señal de arranque. El SOS puede incluso activarse en ausencia de una fuente exógena de lesiones del DNA.
Se activa, por ejemplo, al cabo de 48 horas en colonias bacterianas que están envejeciendo y cuyo índice de crecimiento va disminuyendo. Es una situación corriente en la naturaleza. La recombinación inducida por SOS puede también explotar fragmentos de DNA extraños, desprendidos por los enzimas de restricción.
El SRE no obstaculiza, sino que continúa frenando, la recombinación interespecífica, incluso cuando tiene lugar la activación del SOS. El SOS ejerce múltiples funciones, algunas de las cuales todavía no se conocen bien, y entra en acción con una intensidad variable.
Se piensa que el equivalente del SOS podría, en el hombre, dar origen a enfermedades genéticas esporádicas. En cierto modo, sería el precio que debemos pagar para tener asegurada nuestra capacidad de evolución.



rigurosamente idénticas. Al hacerlo, facilita la integración eventual de fragmentos de DNA procedentes de otra especie.

Reflexionemos ahora sobre la manera en que estos dos sistemas, el SRE y el SOS, combinan su acción. Uno y otro actúan sobre la variabilidad genética y, por tanto, esto les hace susceptibles de intervenir en el proceso de especiación. Sin embargo, lo hacen de manera opuesta. Por regla general, lo que el SRE reprime, el SOS lo activa. El SRE reprime tanto la producción de mutaciones, la mutagénesis, como la recombinación. La respuesta SOS, por el contrario, estimula la mutagénesis y la recombinación. Varios elementos esclarecen el contexto en el que funciona este paradójico dúo. Diversos experimentos muestran, en primer lugar, que en las bacterias el tiempo necesario para pasar de una generación a otra varía mucho según el entorno: desde algunas decenas de minutos hasta 210 días.[6,7] Por otra parte, y contrariamente a lo que se creía, en la naturaleza, el índice de mutación de una población de bacterias no es constante.

El índice básico de mutación de las bacterias es conocido: del orden de una mutación cada 300 generaciones (300 genomas).[8] Sin embargo, es el índice medido cuando todo va bien, cuando el número de bacterias crece de manera exponencial. Pero el ritmo varía en función del entorno. El índice de mutación aumenta sensiblemente, por ejemplo, en caso de carencia alimentaria. Por tanto, aumenta cuando envejece una colonia de bacterias cuyos recursos nutritivos se agotan.[9] Se sabe también que el índice medio de mutación varía sensiblemente según los genes. Una mutación en un gen esencial tiene generalmente un efecto negativo. Pero, a veces, ciertos genes, aun los importantes, pueden tener interés en cambiar. Por ejemplo, todos los receptores de azúcares parecen ser de la misma familia. Esto significa que hace mucho tiempo existió un receptor primordial de un azúcar. Luego, la naturaleza hizo su *bricolage*, como dice François Jacob, y este receptor primordial mutó para generar otros receptores adaptados a otros azúcares. Finalmente, se sabe que el índice medio de mutación varía dentro de una misma especie y hasta entre dos cepas diferentes.

Por consiguiente, los relojes moleculares, que, según se considera, nos permiten reconstruir el pasado con la ayuda de los árboles filogenéticos, no funcionan todos ni siempre a la misma cadencia. Esto significa que el punto de vista clásico según el cual el índice de mutación ha de ser mínimo, no está confirmado. Indudablemente, es mejor hablar, al menos en el caso de las bacterias, de búsqueda de un índice óptimo.

Este índice óptimo es el que maximiza el valor adaptativo, es decir, las oportunidades de supervivencia de una población determinada. Varía en función de la adaptación al entorno del genoma tipo de los individuos de esta población. Si la adaptación es buena, el SRE funciona normalmente. Si es mala, el SRE queda parcialmente inhibido, y el SOS seleccionado (fig. 1). Si, por ejemplo, el alimento es abundante, de nada sirve mutar el receptor del azúcar. En situación de escasez, en cambio, las cosas son distintas. Puede interesar ir en busca de un nuevo alimento, un azúcar hasta entonces no aprovechado. Otro caso: entre los mamíferos, las bacterias patógenas, como por otra parte las células cancerosas proliferantes, que han de adaptarse a su nuevo entorno y escapar del sistema inmunitario, salen ganando si aumentan su índice de mutación.

Algunos resultados recientes abogan por este esquema. Recordemos que los intercambios entre individuos de una misma especie tienden a disminuir a medida que se acumula el polimorfismo, es decir, las diferencias entre su DNA. Este crecimiento es lento en circunstancias normales, en un ambiente estable, y está

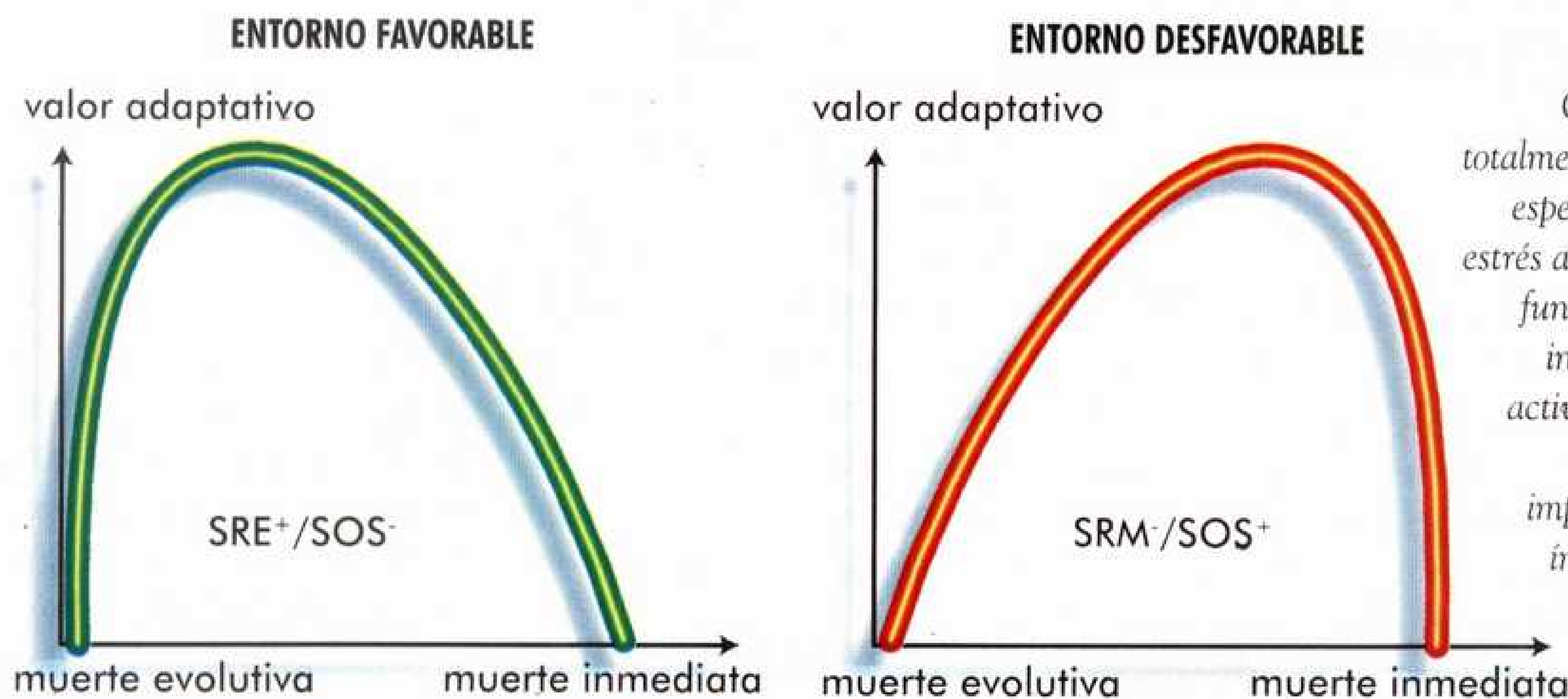


Figura 1. Un índice de mutación óptimo. *Cuando el entorno es favorable, el SRE se activa totalmente y controla de manera rigurosa la barrera de especie. El SOS no se activa. Cuando se produce un estrés ambiental susceptible de poner en peligro el buen funcionamiento de la replicación y, por tanto, de la integridad del genoma, el SRE queda inhibido y se activa el SOS. Las dos parábolas expresan la idea de que entre un índice de mutación demasiado importante que provoca la muerte inmediata, y un índice insuficiente que se traduce en incapacidad para la adaptación, existe un índice de mutación óptimo que maximiza el valor adaptativo.*

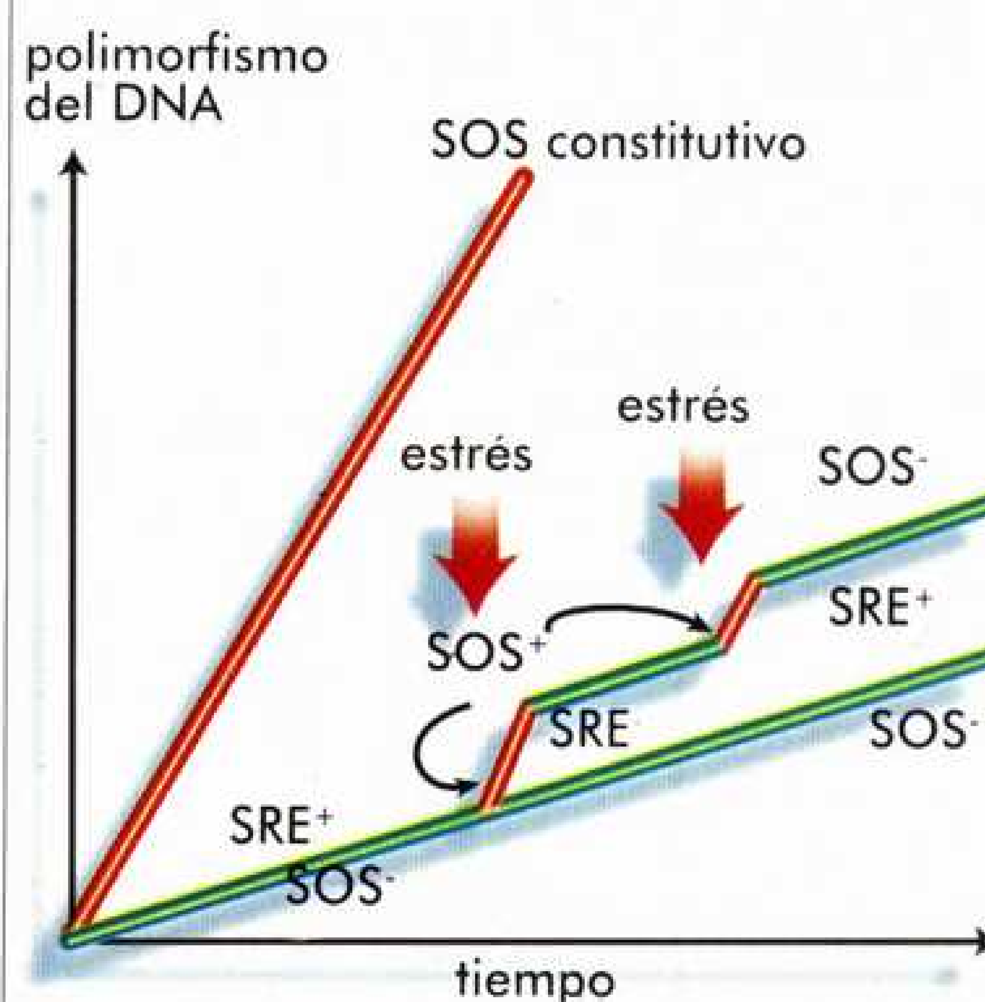


Figura 2. Estrés y SOS. *El estrés ambiental induce una respuesta de tipo SOS que aumenta la mutagénesis de manera transitoria. La operación puede repetirse. Después del periodo de estrés, el SOS se desactiva y el SRE recupera su función de guardián del templo. El polimorfismo del DNA aumenta más que si los episodios de estrés no hubieran tenido lugar.*

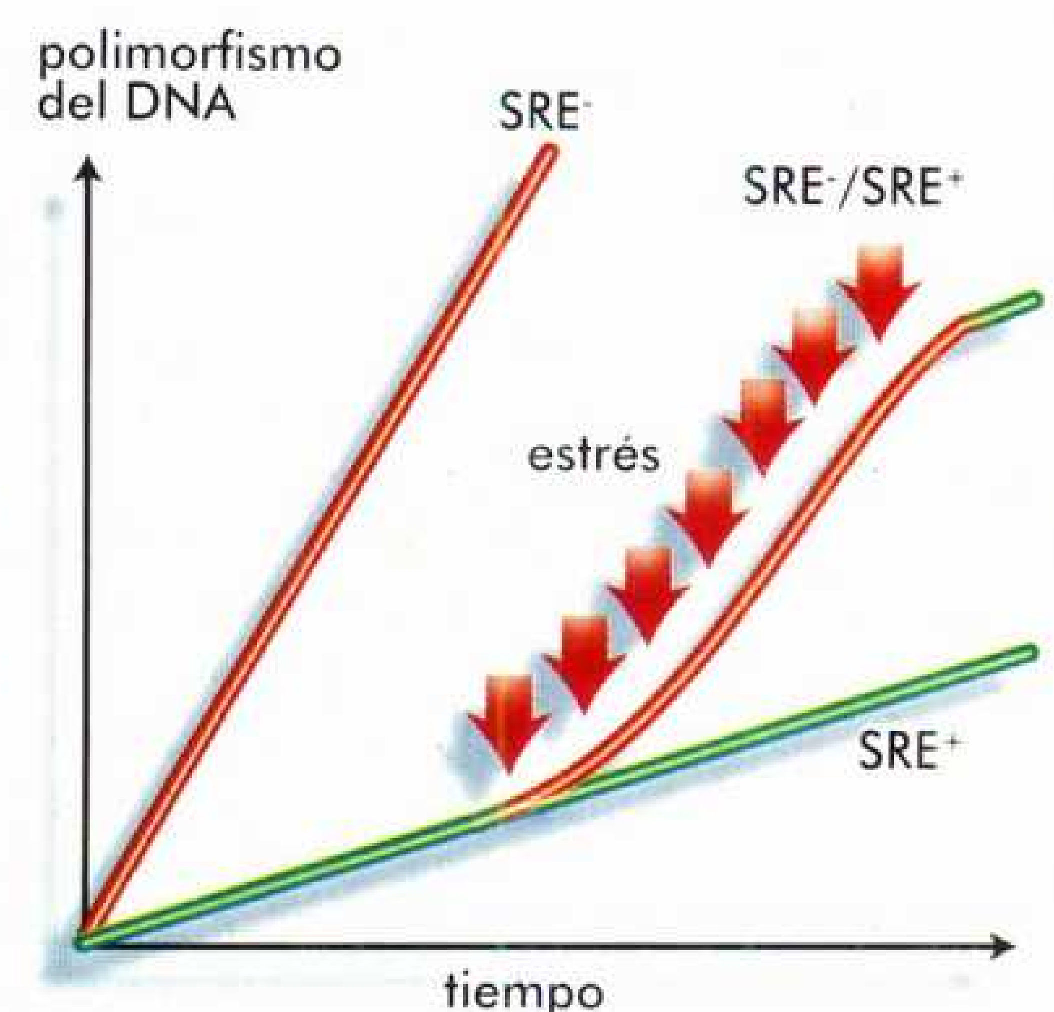


Figura 3. Estrés prolongado y SRE. *En caso de estrés prolongado, el SRE es susceptible de mutar. Los alelos mutadores seleccionados favorecen un índice de mutación aproximadamente cien veces más elevado. La recta SRE- indica la velocidad a la cual el polimorfismo se acumularía si el SRE estuviera completamente inactivado. Existe una sinergia entre los efectos del SRE y los del SOS (efecto aditivo, incluso multiplicador).*

(6) L.K. Poulsen *et al.*, *J. Bacteriol.*, 177, 5.840, 1995.
(7) A. Matin, *Molec. Microbiol.*, 5, 3, 1991.
(8) J.W. Drake, *Proc. Natl., Acad. Sci. USA*, 88, 7.160, 1991.
(9) F. Taddei, I. Matic y M. Radman, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 92, 11.736, 1995.

controlado por el SRE. Si se produce una situación de estrés, el SOS se activa. El índice de mutación aumenta con gran rapidez, lo que permite la selección de mutantes adaptados al nuevo entorno, sin impedir el intercambio de genes entre mutantes y no mutantes. El proceso puede reproducirse, creando una alternancia de activaciones y desactivaciones del SOS (fig. 2). Pero se ha descubierto que si la presión de selección y el tamaño de la población son suficientes, la eficacia del sistema SRE queda afectada. Puede quedar inactivado de manera transitoria. También pueden ser seleccionados mutantes del SRE. Esta menor eficacia favorece un índice de mutación del genoma más elevado, que perdura después del final del periodo de estrés e inactivación del SOS. Durante el periodo de estrés, la selección natural favorece las bacterias mutadoras hasta que se adaptan de manera óptima al nuevo entorno (fig. 3).

Estos datos y otros nos permiten proponer un esquema del proceso de especiación a nivel molecular. En un periodo de estrés prolongado, se produce una mayor selección de los genes que aumentan la variabilidad genética: no solamente las mutaciones favorables, sino también las mutaciones neutras y las deletéreas. Desde el punto de vista de la barrera de especie, sólo cuenta el número total de mutaciones, cualquiera que sea su naturaleza. En una situación límite, pueden concebirse dos organismos absolutamente indiscernibles desde el punto de vista funcional y morfológico —es decir, desde el punto de vista del fenotipo— y, sin embargo, separados por una barrera de especie radical a causa de la acumulación de mutaciones neutras. Por otra parte, conocemos ranas de especie diferente, pero imposibles de distinguir entre sí. Por el contrario, se ven perros totalmente diferentes engendrar bastardos en plena forma, debido a que el polimorfismo genético no ha tenido tiempo de acumularse suficientemente.

Después del periodo de estrés, cuando el entorno vuelve a estabilizarse, el SOS se desactiva y la población pasa nuevamente a tener un índice de mutación normal. Los mecanismos que preservan la estabilidad del genoma vuelven a ser los privilegiados.

Pero el polimorfismo puede haber aumentado lo suficiente para que se haya formado una barrera de especie entre dos o más subpoblaciones. Barrera que, una vez más, el SRE guarda celosamente como había guardado la barrera de la población inicial antes de que se produjera el episodio de estrés (fig. 4).

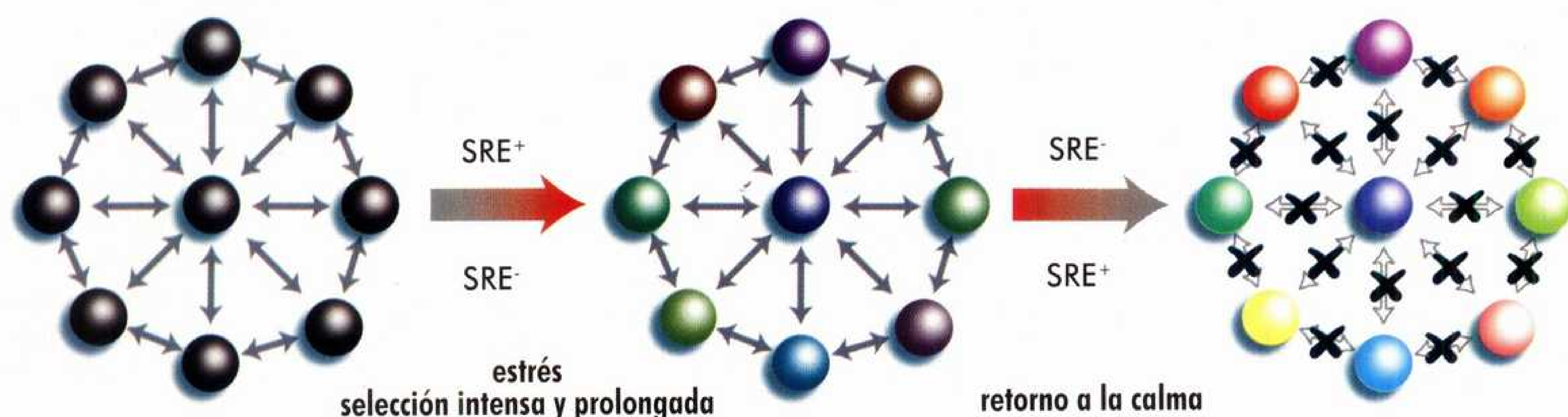


Figura 4. Hipótesis: el proceso de especiación. Una especie está compuesta de poblaciones de individuos (aquí, círculos) que intercambian material genético (flechas entre círculos). Cuando se produce un estrés ambiental, por ejemplo, la necesidad de adaptarse a un nuevo hábitat, el SRE se inhibe y el SOS se activa. La mutagénesis se intensifica y el polimorfismo se acumula rápidamente (la composición de los círculos se diversifica). Una vez adaptado el genoma a su nuevo hábitat, los mecanismos que preservan su integridad son seleccionados de nuevo. Pero algunos de los genomas han podido divergir hasta el punto de que el SRE instaura una o varias nuevas barreras que prohíben o limitan enormemente los intercambios entre las especies así creadas.

Un sistema así privilegia la concepción gradualista según la cual la especiación, que es posible gracias a la interrupción del intercambio genético entre dos poblaciones, raramente se debe a funciones completamente nuevas. Sin embargo, nosotros no apoyamos la tesis gradualista estricta según la cual la evolución tiene lugar gracias a una serie de pequeñas mutaciones que se producen de acuerdo con un índice constante. Nosotros pensamos que se trata, en efecto, de una serie de pequeñas mutaciones, pero con aceleraciones repentinas provocadas por el estrés ambiental. Finalmente, digamos que este proceso no excluye procesos más radicales. Se sabe que en los coli y las salmonelas existen unos cuarenta genes, es decir operones completos (grupos de genes que actúan conjuntamente), pero existen en una especie y no en otra. Por tanto, se piensa que su llegada se debe a una transferencia horizontal, mediante un plásmido o un virus. Por ejemplo, hay razones para pensar que los genes *mutH* y *mutL* del SRE abandonaron los coli en una época determinada y que, luego, volvieron a aparecer por transferencia horizontal. Otro ejemplo: el operón lactosa, que permite a la bacteria nutrirse con el azúcar lactosa, existe en los coli y no en las salmonelas. Se cree que el operón lactosa fue transferido a los coli a partir de otra especie de bacteria. En este caso, la llegada del operón lactosa no dio origen a una nueva especie, pero modificó la especie aportándole una baza esencial, y nada impide pensar que transferencias de genes de esta importancia pueden, en determinados casos, contribuir a un proceso de especiación. A menudo, las bacterias adquieren genes de virulencia o resistencia a un nuevo antibiótico mediante transferencia horizontal.

Este punto de vista hace que podamos sugerir, al menos en las bacterias, una definición de la especie en cierto modo estadística y basada en la medida de la probabilidad de transferencia de genes de una especie a otra. Es una definición que tiene en cuenta el hecho de que esta probabilidad depende no solamente del índice de divergencia entre las secuencias de DNA, sino también del impacto del medio ambiente al cual se enfrentan las poblaciones de referencia a través del efecto SRE y SOS.

Cuando se llevan a cabo experimentos de hibridación entre coli y salmonelas, es posible medir la competitividad de estos híbridos frente a la de sus padres. Por regla general, los híbridos son menos competitivos y no sobreviven o no se reproducen: no son deseleccionados. Por esto, raras veces se hallan en la naturaleza. Sin embargo, se observan intercambios de genes. ¿Cómo aparecen? Partiendo de la idea de que, probablemente, el ambiente influye, las colonias bacterianas se sitúan en unas condiciones que desfavorecen a ambos padres: uno de ellos porque no sabe cumplir la función A, y el otro porque no sabe cumplir la función B. Se observa entonces que los híbridos se muestran más competitivos que uno de sus padres y hasta que ambos padres. En laboratorio, es posible crear condiciones en las que los híbridos serán seleccionados sistemáticamente. En la naturaleza, los recombinantes procedentes de dos especies diferentes suelen

ser eliminados. Pero no es imposible pensar que, de vez en cuando, en ciertos ambientes y ciertas combinaciones de genes, el resultado puede ser eficaz. Esto es tanto más verosímil cuanto que en el mundo bacteriano estos procesos operan sobre cantidades gigantescas, en los ambientes más diversos y frecuentemente con gran rapidez. Pensemos que solamente el cuerpo humano alberga 400 especies de bacterias y, en total, un número de bacterias mayor que el de células.

Nuestra idea del modo en que tiene lugar la especiación a nivel molecular nos obliga a adaptar el paradigma darwiniano clásico. Según este paradigma, existe un polimorfismo genético significativo, y la selección natural favorece los alelos, es decir, las copias de genes, cuya secuencia tiene el mayor valor adaptativo. En este modelo, las mutaciones aparecen independientemente de cualquier presión selectiva y de cualquier estrés ambiental. Por el contrario, según el paradigma lamarckiano, el polimorfismo es escaso y el alelo favorable no preexiste en la población antes de la llegada de la presión selectiva, sino que es inducido por ella. Podemos hacer referencia a unos esquemas diseñados en 1983 por el especialista en genética de las poblaciones John McDonald (fig. 5).[10] En el paradigma que nosotros sugerimos, bajo el efecto del estrés y gracias al sistema SOS, se produciría una extensión del polimorfismo con una gran acumulación de alelos interesantes para la adaptación, que pasarán por una selección.

Tomemos el ejemplo clásico de los patógenos. En el modelo lamarckiano, cuando un nuevo patógeno es reconocido por anticuerpos, provoca una mutación genética *ad hoc* que le permite escapar del sistema inmunitario. En el modelo darwiniano, el alelo capaz de permitirle escapar del sistema inmunitario ya está presente antes de que se ponga en funcionamiento dicho sistema, pero es poco frecuente. El sistema inmunitario puede hacer variar la frecuencia del alelo, que, eventualmente, suplantará a otro alelo. En este paradigma, es el sistema SOS el que, en respuesta al estrés impuesto por el sistema inmunitario, estimula el índice de mutación en general y, por tanto, genera la aparición de un gran número de alelos diferentes, con lo que aumenta la probabilidad de que al menos uno sea eficaz (véase el recuadro «Las bacterias lamarckianas»).

La cuestión fundamental es, evidentemente, saber en qué medida es verificable esta adaptación del paradigma darwiniano, y no sólo en las bacterias, que poseen un cromosoma único y carecen de núcleo, sino en el conjunto del mundo vivo. Todos recordamos la fórmula de Jacques Monod: «Lo que es verdad para el *E. coli*, es verdad para el elefante». ¿Qué puede decirse hoy?

Parece ser que el sistema de reparación de los emparejamientos erróneos (SRE) existe con variantes en todos los seres vivos donde se ha buscado, incluido el hombre, En todas partes se hallan homólogos de *mutS* y *mutL*. La única excepción es una micobacteria cuyo genoma acaba de ser secuenciado íntegramente. Pero se trata de un minúsculo parásito de las células eucariotas, con un genoma muy pequeño, sometido a la presión del sistema inmunitario. Es de suponer que, en este parásito, el coste de las mutaciones es menor y el beneficio que obtiene mayor. Esto favorecería de manera permanente un índice de mutación alto, como en los virus humanos.

En los eucariotas, parece existir un SRE especializado para los genes del núcleo y otro especializado en los genes de las mitocondrias. Hay también funciones separadas según se trate de reparar los genes durante la mitosis (división celular) o durante la meiosis (formación de las células sexuales). La levadura tiene seis *mutS*. El hombre, sin duda, tiene más. Paradójicamente, el parecido entre sí de los *mutS* de los coli y ciertos *mutS* humanos es mayor que el parecido que tienen entre sí algunos de estos genes.

El sistema SRE existe, según parece, en todos los seres vivos. En el sistema SOS, el panorama no es tan claro

Esto significa, sin duda, que estos últimos vienen de muy lejos en la historia del ser vivo. Desde hace poco —un descubrimiento hecho simultáneamente por dos equipos— se sabe que, en el hombre, unas mutaciones en *mutS* y *mutL* permiten predecir un cáncer de colon hacia la edad de 50 años.[11,12] Otras anomalías del SRE están asociadas, quizás, a la arterioesclerosis y, más generalmente, al envejecimiento. Los datos más recientes indican que el SRE interviene en la protección de la barrera de especie en la levadura, y puede que también en el ratón. En laboratorio se han creado cepas de células embrionarias de ratón que carecen del equivalente del SRE, y se ha constatado que su índice de mutación, de recombinación entre secuencias divergentes y de cánceres aumentaba considerablemente.

En cuanto al sistema SOS, el panorama

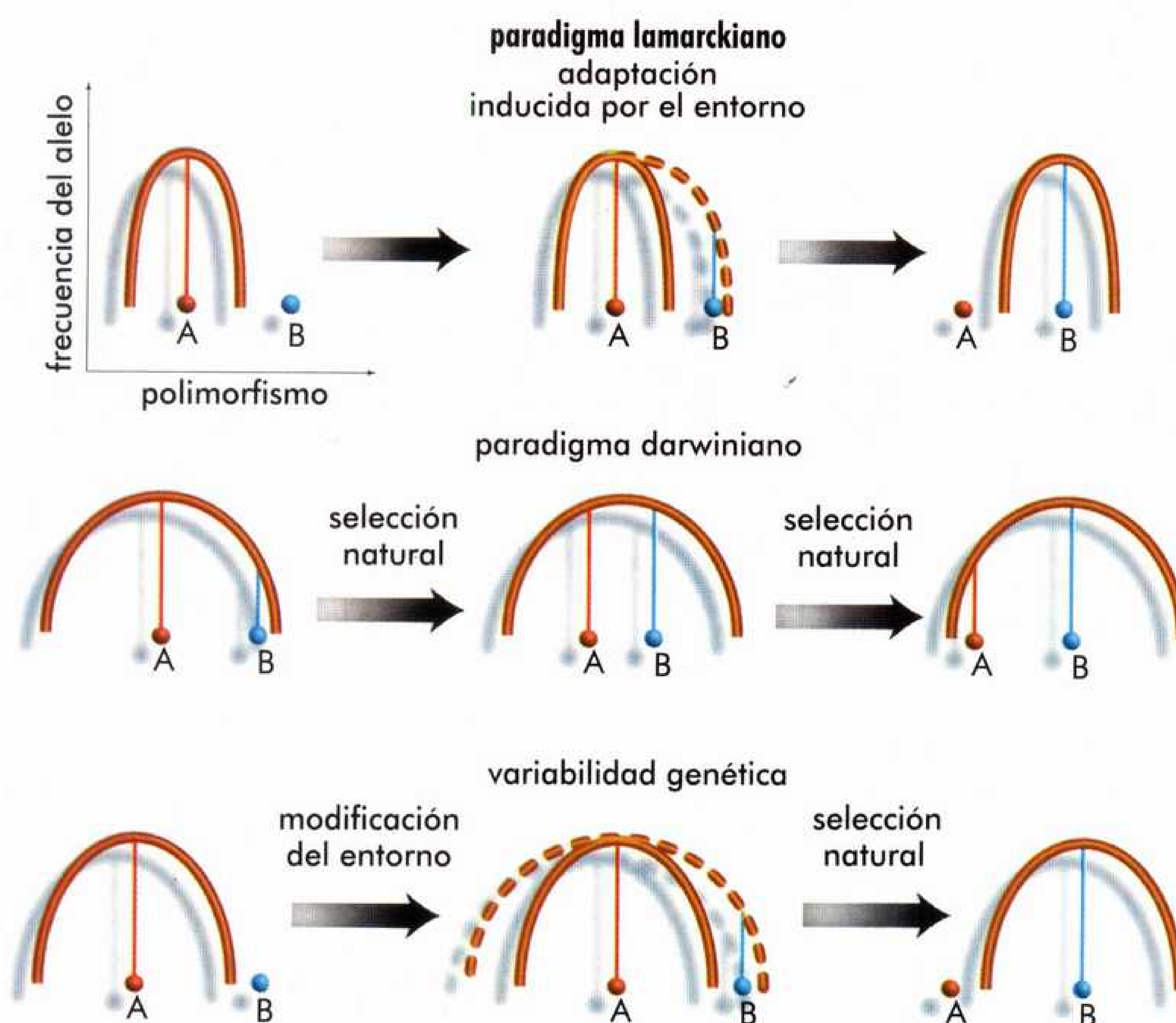


Figura 5. ***Una adaptación del paradigma darwiniano.*** *Histogramas de la frecuencia de los alelos. Según el paradigma lamarckiano, la población responde a un estrés ambiental creando una mutación* ad hoc. *En el caso de la figura, el alelo B, que contiene la mutación, no está presente en la población de origen. Según el paradigma darwiniano, el alelo B ya está allí, pero poco representado en la población. Después de un periodo de estrés y de adaptación, el alelo B suplantará al alelo A, que, sin embargo, subsistirá. En la realidad, podría ocurrir que la simple extensión del polimorfismo debido a las reacciones de los sistemas SOS y SRE frente al estrés ambiental aumente la variabilidad genética, y que el alelo B, ausente del genoma original y que aparece en el marco de esta extensión del polimorfismo, se vea favorecido por la selección natural.*

(10) J. McDonald, *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, *14*, 77, 1983.
(11) M. Radman, *Nature*, *366*, 772, 1993.
(12) M. Radman, I. Matic, J.A. Halliday y F. Taddei, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, *347*, 97, 1995.

no es tan claro. Se ha encontrado en todas las bacterias en que ha sido buscado. En el mundo de los eucariotas, se observan mecanismos análogos al SOS, pero, quizá, no homólogos: no se ha demostrado que tengan antepasados comunes. Se trataría, pues, de mecanismos reguladores inventados varias veces a lo largo de la evolución para resolver el mismo tipo de problema. Como ya había observado Barbara McClintock, uno de ellos existe en las plantas, en las cuales se manifiesta en diversas situaciones de estrés (choque térmico, agente químico, radiaciones).[13] En la drosófila, el grupo de Jean-Claude Bregliano, de Marsella, ha demostrado que hay una respuesta de tipo SOS provocada por agentes que dañan el DNA o que lo envejecen.[14] Se ha comprobado que los transposones empiezan a moverse y que la recombinación aumenta. Ciertos paralelismos moleculares de estos mecanismos se observan desde las bacterias hasta el hombre. Los pares del tipo SRE-SOS parecen existir en todos los seres vivos. Por otra parte, el estudio comparado de las secuencias nos muestra actualmente que para analizar las divergencias entre especies es más interesante concentrarse en el modo de regulación de las proteínas que en las propias proteínas. Una buena ilustración de esto sería la diferencia entre el hombre y el chimpancé, cuyas proteínas son 99 % idénticas. Sin duda, lo que difiere en ellos son ciertos mecanismos de regulación en los que interviene la parte no codificante del DNA, la cual representa más del 90 % del genoma y tiene una variabilidad mucho mayor. El descubrimiento de los genes homeóticos, estos genes de regulación del desarrollo en los que una simple mutación permite transformar un ala en pata, aboga también por este punto de vista. Es el gran descubrimiento de los últimos veinte años en la biología del desarrollo. Sería interesante conocer el índice de mutación de estos genes homeóticos y saber si este índice difiere del de otros genes. Interesante también saber si tales genes responden al estrés y de qué manera.

Para acabar, volvamos a la sexualidad. En los eucariotas superiores, la mayor parte de los cromosomas está constituida por secuencias repetidas que no codifican ninguna proteína: es el DNA «basurero». Aquí, el SRE sirve para impedir la recombinación entre secuencias repetidas (lo que podría perjudicar la integridad de los cromosomas). Lo hace ejerciendo una protección mucho más estrecha que en los organismos que se reproducen por simple división celular. Así, en los mamíferos, el polimorfismo no sobrepasa el 0,1 % a 0,5 %. En los rotíferos sexuados, lo mismo que en el ser humano, tampoco sobrepasa el 0,1 %, mientras que en los rotíferos asexuados, el polimorfismo llega a ser del 10 %.

Es plausible que en los seres que se reproducen mezclando los cromosomas paternos y maternos y que, por tanto, recurren al mecanismo, muy complejo, de la meiosis, intervenga, en este momento preciso, el SRE para impedir las recombinaciones entre secuencias demasiado divergentes. Así ocurre en la levadura, un organismo modelo para el estudio de la meiosis.[15] No sería sorprendente que fuera la intervención del SRE lo que provoca la esterilidad de los híbridos, como el mulo. Entonces, el polimorfismo de nuestro DNA «basurero» constituiría el material de elección de nuestra barrera genética.

TaMaRa ■

LAS BACTERIAS LAMARCKIANAS

Los trabajos que hizo John Cairns cuando trabajaba en Harvard provocaron una importante controversia que todavía no se ha extinguido. Estos trabajos parecían demostrar la posibilidad de que algunas mutaciones bacterianas útiles podrían estar provocadas directamente por un entorno determinado. El experimento básico consistió en incubar coli modificadas genéticamente en presencia de una fuente única de carbono (en este caso, lactosa) que no podrían utilizar sin mutar. Todo ocurrió como si únicamente se acumularan las mutaciones que permiten el crecimiento en la lactosa. Cairns llegó a la conclusión de que eran posibles unas «mutaciones dirigidas», lo cual cuestionaría el paradigma neodarwiniano.[III] Para explicarlo, llegó incluso a esbozar la hipótesis de que en ciertos casos la información, en vez de ir de los ácidos nucleicos hacia las proteínas, circula en sentido contrario. Esto, sin embargo, va contra el principio básico de la biología molecular. Después de varios años de controversia, puede decirse que no parece existir ninguna demostración convincente de mutagénesis dirigida. Sí puede hablarse, en cambio, de «mutaciones adaptativas», ya intuidas en los años 1950 por Max Delbrück, pionero de los experimentos de mutagénesis bacteriana. El resultado es compatible con el modelo neodarwiniano, puesto que incorpora a él la idea, apuntada en 1984 por Barbara McClintock, de que, en condiciones de estrés, se ponen en marcha algunos mecanismos como el sos, que aumentan la variabilidad genética.

(13) N. de Wind, M. Radman *et al.*, *Cell*, 82, 321, 1995.
(14) B. McClintock, *Science*, 226, 792, 1984.
(15) E.G. Lebel *et al.*, *Proc. Natl. Sci.*, 90, 422, 1993.

Para más información

- M. Ridley, *The Red Queen, Sex and de Evolution of Human Nature*, Penguin Books, 1994.
- J.-M. Smith, *The Evolution of Sex*, Cambridge University Press, 1978.
- R. Michod y B.R. Levin, *The Evolution of Sex*, Sinauer, Sunderland, Mass., 1988.
- E. Friedberg *et al.*, *DNA Repair and Mutagenesis*, Washington DC.: ASM Press, 1995.

ULTRASONIDOS Y LOS ESPEJOS ACÚSTICOS

Arnaud Derode, Philippe Roux y Mathias Fink

Un breve sonido transformado en un ruido largo... e inversamente

ARNAUD DERODE, PHILIPPE ROUX y **MATHIAS FINK,** laboratorio Ondas y acústica, Universidad Denis-Diderot, París-VII (URA CNRS 1503) y ESPCI.

ULTRA-SONIDOS Las ondas ultrasonoras utilizadas aquí tienen una frecuencia del orden de 0,5 a 5 megahertzios. Teniendo en cuenta la velocidad de propagación en el agua (1.500 m/s), ello corresponde a longitudes de onda de entre 0,3 y 3 mm.

PIEZO-ELÉCTRICO Dícese de ciertos materiales que, como el cuarzo, crean una señal eléctrica cuando son sometidos a una presión mecánica (y recíprocamente).

CAMPO ACÚSTICO Es la sobrepresión (diferencia con respecto a la presión de equilibrio) en todo punto y en un instante dado.

Una señal sonora, después de atravesar una estructura desordenada, sale desfigurada. Pero unos espejos acústicos son capaces de devolverle su forma inicial

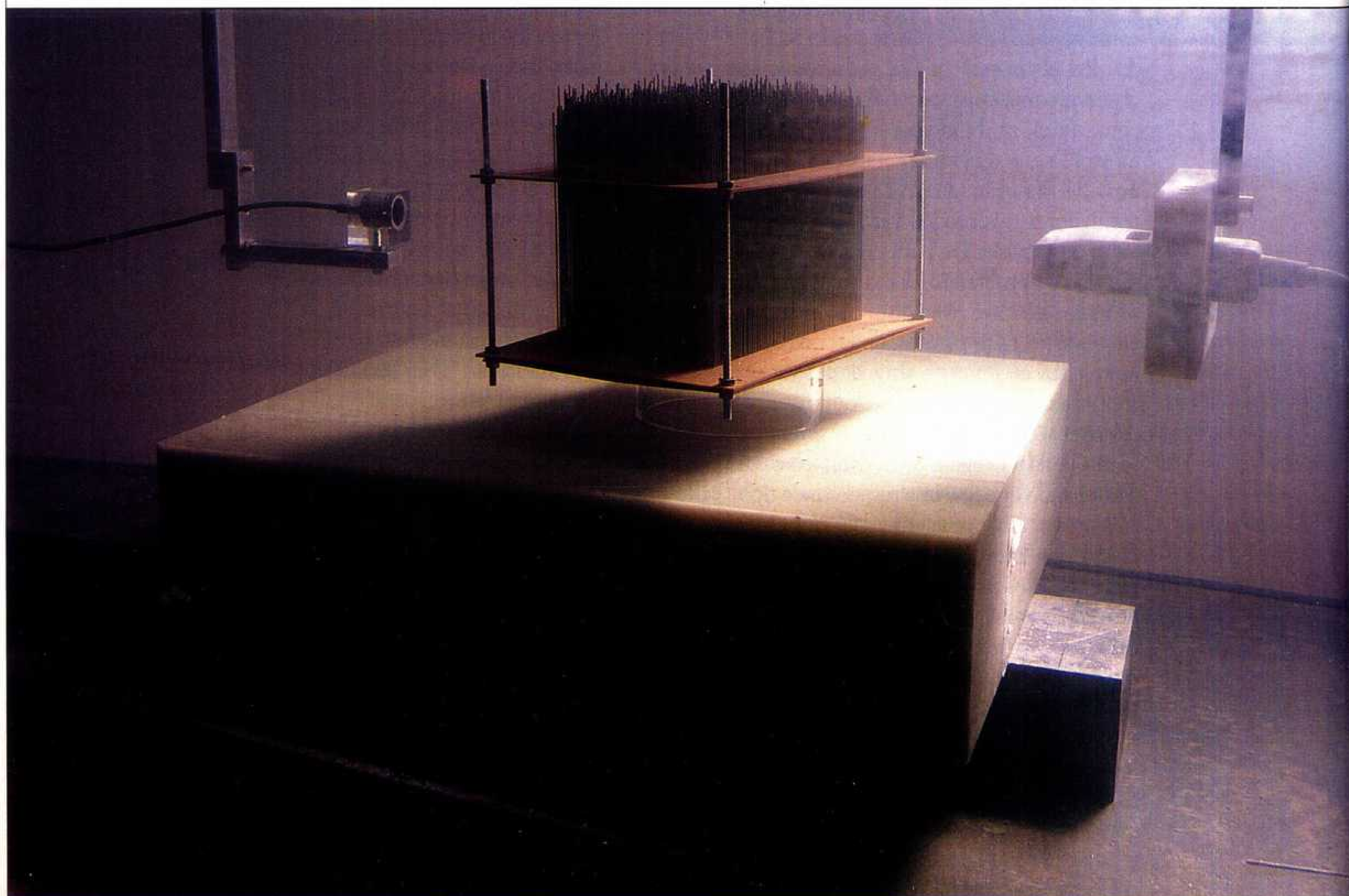
Una ola rompe en las rocas y se convierte en espuma... ¿Es posible que la ola se reconstituya a partir de esta espuma o, lo que es lo mismo, que recorra al revés las etapas anteriores de su evolución? La experiencia común demuestra que no. No obstante, transformaciones muy parecidas son realizables en experimentos de acústica ultrasonora*.

Desde hace unos años, nuestro equipo de la ESPCI (Escuela superior de física y química industriales de la Ciudad de París) ha diseñado varios *espejos de inversión temporal*. Un tal dispositivo está formado por un conjunto de pequeños sensores piezoeléctricos* independientes (generalmente 128). Cada uno de estos elementos puede no solamente registrar las fluctuaciones temporales del campo acústico,* sino también emitir una onda ultrasonora cuya forma está fijada de antemano. Es posible, pues, registrar en 128 puntos del espacio las variaciones del campo de presión en función del tiempo y luego invertir temporalmente en una memoria electrónica los valores así medidos y obligar a cada sensor a emitir la onda «invertida». Para los emisores-receptores, se trata de repetir al revés lo que han oído.

En tales condiciones, es de esperar que la onda ultrasonora reemitida por los sensores reviva las etapas de su vida anterior y en particular se refocalice en la fuente que le dio origen. Se puede incluso sustituir la fuente por un objeto pasivo, silencioso. En tal caso, la focalización de los ultrasonidos se consigue enviando una señal extensa, recogiendo el eco reflejado por la «fuente» y reemitiendo el eco inverso. A diferencia de un sistema inmóvil como una lente convergente, que sólo puede focalizar en un punto fijo, el espejo de inversión temporal es un sistema flexible, adaptativo, capaz de focalizar energía acústica sobre un blanco cualquiera que sea su posición y de seguir su eventual desplazamiento.[1]

Las aplicaciones ya estudiadas en nuestro laboratorio tienen que ver con la detección submarina, el control no destructivo de materiales (por ejemplo, para asegurarse de la ausencia de defectos en las piezas destinadas a los aviones), la medicina (para destruir con precisión cálculos renales).

Estos espejos acústicos especiales han probado su buen funcionamiento cuando los ultrasonidos se propagan en medios homogéneos como el agua, o débilmente



heterogéneos como el cuerpo humano y la mayoría de los materiales. Recientemente, hemos tratado de verificar la robustez de los espejos de inversión temporal en condiciones más desfavorables.

Queríamos estudiar medios fuertemente desordenados en los que la señal breve no solamente se deforma durante la propagación, sino que se extiende en el tiempo aleatoriamente, igual que una ola rompe en múltiples salpicaduras. Dicho de otro modo, ¿es posible reconstruir fácilmente una «ola» acústica una vez rota?

Hemos diseñado un experimento en el cual un medio desordenado dispersa fuertemente los ultrasonidos: se trata de un bosque de unas 2.000 varillas metálicas paralelas de 0,8 mm de diámetro dispuestas al azar. Las varillas están sumergidas en agua de un modo lo bastante denso (hay unas 16 por cm^2) para que una onda acústica sufra numerosas dispersiones sucesivas (fig. 1).

Se envía una señal ultrasonora breve (duración: 1 microsegundo, longitud de onda media: 0,43 mm) a través del bosque de varillas. Estamos en un régimen de fuerte «dispersión múltiple»: la señal transmitida (fig. 2) contiene los ecos múltiples debidos a las reflexiones de la onda incidente sobre las varillas y se extiende a lo largo de más de 250 veces la duración del impulso inicial. Ello supone trayectos dentro de la muestra iguales a unas 150 veces la distancia media entre varillas. Lo mismo que una ola rompe en las rocas, la onda transmitida a través de este medio pierde toda huella aparente del orden inicial (coherencia, directividad, resolución temporal).

(1)
A. Derode, P. Roux y M. Fink, *Phys. Rev. Lett.*, *75*, 4.206, 1995.

Mundo Científico ha publicado:
(I)
«La inversión temporal de las ondas acústicas», nº 147, junio, 1994.

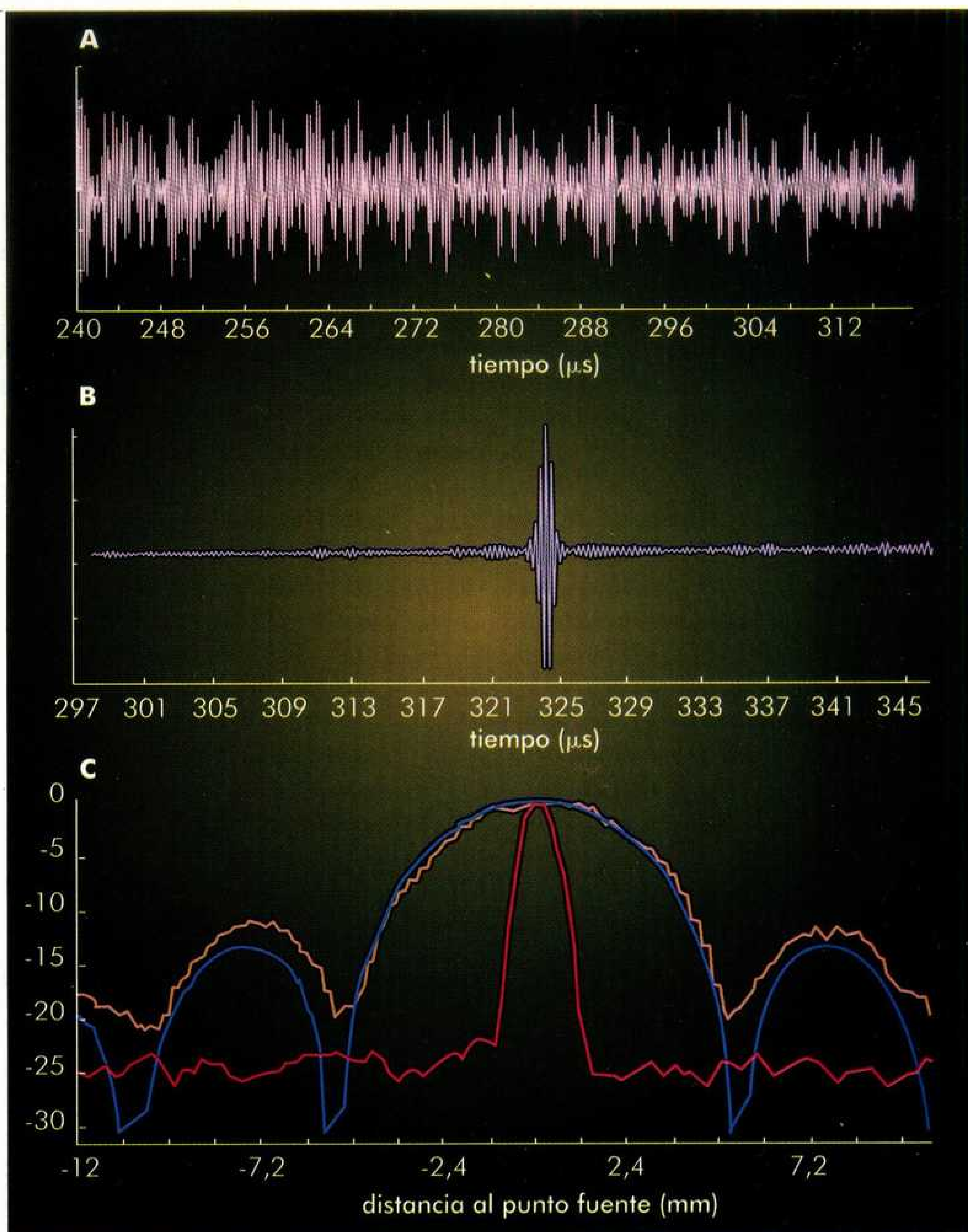


Figura 2.
A: la señal recibida por uno de los sensores del espejo después de que la onda inicial, cuya duración era de 1 microsegundo, se dispersara a través de las 2.000 varillas (sólo se han representado 80 μs, aunque la señal puede durar más de 250). B: en función del tiempo, la señal detectada en la fuente tras inversión temporal a través de las 2.000 varillas. C: perfil espacial del haz recreado alrededor de la fuente. La resolución espacial es seis veces más fina en presencia de dispersión múltiple por las varillas (en rojo) que en un medio homogéneo (azul, la curva teórica; amarillo, la curva experimental).

Una «ola» acústica reconstruida

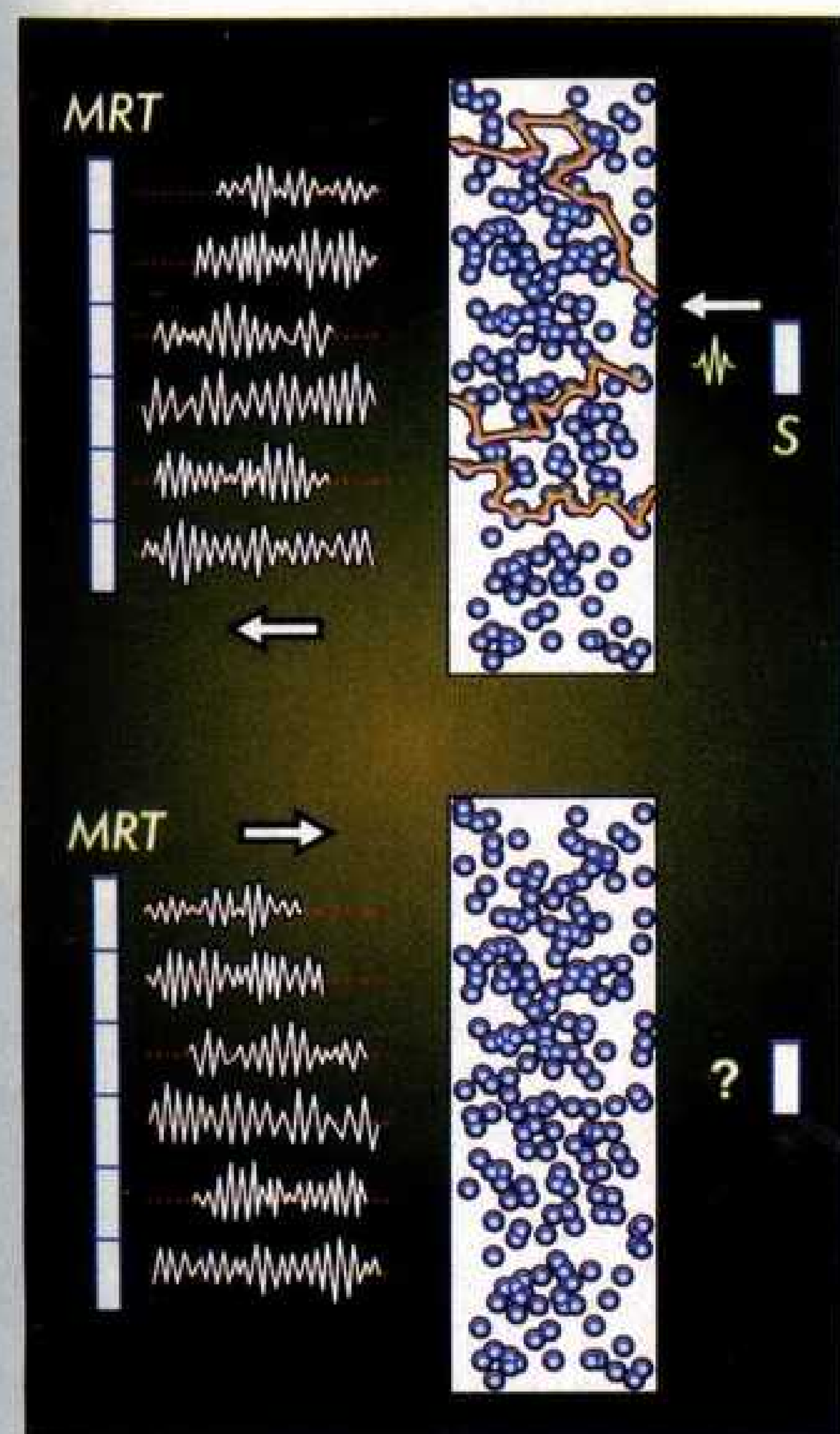


Figura 1.
Arriba, la fuente S emite una señal breve que se propaga a través del bosque de varillas siguiendo numerosos caminos de dispersión múltiple. Los sensores del espejo acústico (MRT) registran las señales transmitidas, que se extienden en el tiempo debido a las múltiples reflexiones sobre las varillas. Durante la segunda etapa (abajo), el espejo reemite las señales temporalmente invertidas. Se mide entonces la señal recreada en el punto fuente. La fotografía muestra el dispositivo experimental. (Foto Jean-Noël Pignet.)

Con los 128 sensores, registramos la onda de llegada durante unos 250 μs y luego procedemos a la inversión temporal y a la reemisión de las ondas a través del conjunto de varillas. Se observa entonces una sorprendente recompresión: la señal medida en la fuente recupera su duración inicial, de cerca de 1 μs. Esta observación nos ha sorprendido por partida doble. *A priori*, era lícito pensar que, como en la mayoría de las situaciones, la menor perturbación del medio dispersor, por ejemplo el más ínfimo desplazamiento de una de las varillas, llevaría a una señal irreconocible. Pero el resultado habla a las claras: las múltiples dispersiones sufridas por la onda reemitida no le impiden revivir exactamente las etapas anteriores de su propagación y volverse a concentrar en la fuente.

Segunda sorpresa: la focalización lograda es mucho mejor que en el caso de un medio de propagación homogénea (el agua sin las varillas).[1] Por ejemplo, en el caso particular presentado (fig. 2C), el haz ultrasonoro recreado a través de las varillas es seis veces más fino que en el agua sola. Haciendo variar la distancia fuente-espejo, así como la concentración de las varillas, hemos observado resoluciones de hasta 0,5 mm para una longitud de onda media de 0,43 mm.

En un primer momento, el resultado nos pareció paradójico: intuitivamente, era de esperar que las numerosas dispersiones degradaran la calidad de la focali-

zación. En realidad, el efecto de hiperresolución obtenido no viola las leyes clásicas de la difracción de las ondas y puede, como veremos luego, interpretarse simplemente.

En un medio homogéneo, la teoría de la difracción estipula que el tamaño del haz reconstruido por el espejo es más o menos inversamente proporcional al tamaño del espejo. Esto, nuestros experimentos precedentes lo han verificado a plena satisfacción.

En el caso de múltiples dispersiones por las varillas, la onda inicial pierde toda directividad. Se forma entonces, dentro del medio, un «halo» ultrasonoro tanto más ancho cuanto mayor es el número de dispersiones sucesivas. Ahora bien, una vez realizada la inversión temporal, la onda toma de regreso los mismos caminos que de ida. En este punto, todo ocurre como si el «halo» de dispersión múltiple desempeñara el papel de fuente. Y como el diámetro angular de dicho halo es muy superior al del espejo acústico, la resolución, al ser inversamente proporcional al tamaño de la fuente reemisora, queda mejorada.

El efecto puede cuantificarse en función de las propiedades estadísticas de las ondas dispersadas y de las limitaciones experimentales (capacidades de las memorias electrónicas y duración del registro, ángulo cubierto por el espejo).[2] Así, al reflejar 250 μs de ruido en un medio desordenado, se consigue recrear una señal más breve, y ello con una resolución espacial más elevada que en un medio homogéneo. La mejora de la resolución interesa especialmente en las aplicaciones médicas, donde la finura del haz ultrasonoro es fundamental. Por lo demás, estos experimentos ponen de manifiesto el gran interés de los espejos de inversión temporal desde un punto de vista fundamental. La dispersión de las ondas en estructuras aleatorias es un problema muy general en física y nuestro dispositivo acústico le brinda nuevas posibilidades experimentales. En los sistemas mecánicos (por ejemplo, conjuntos de bolitas), la extrema sensibilidad a las condiciones iniciales imposibilita la realización de experimentos equivalentes. Haría falta un conocimiento infinitamente preciso del estado inicial.

En el caso de los fenómenos ondulatorios, en cambio, la cantidad de información necesaria es limitada y depende de la menor de las longitudes de onda que están en juego. En efecto, cabe demostrar matemáticamente que no se pierde información si la onda se mide en puntos que distan menos de una semilongitud de onda. No es necesario registrar la onda en todo punto. En ello estriba el éxito de los procesos de inversión temporal de las ondas acústicas.

A.D., P.R. y M.F. ■

(2) A. Derode, *Tesis doctoral*, Universidad Denis-Diderot, Paris-VII, diciembre de 1994.

OCEANOGRAFÍA

LAGOS SALADOS DEL FONDO DEL MEDITERRÁNEO

Fabienne Lemarchand

Una consecuencia del choque entre Europa y África

FABIENNE LEMARCHAND es periodista.

El fondo del Mediterráneo oriental está sembrado de fosas de salmuera, que podrían contribuir a explicar la salinidad anormalmente elevada de las aguas de este mar.

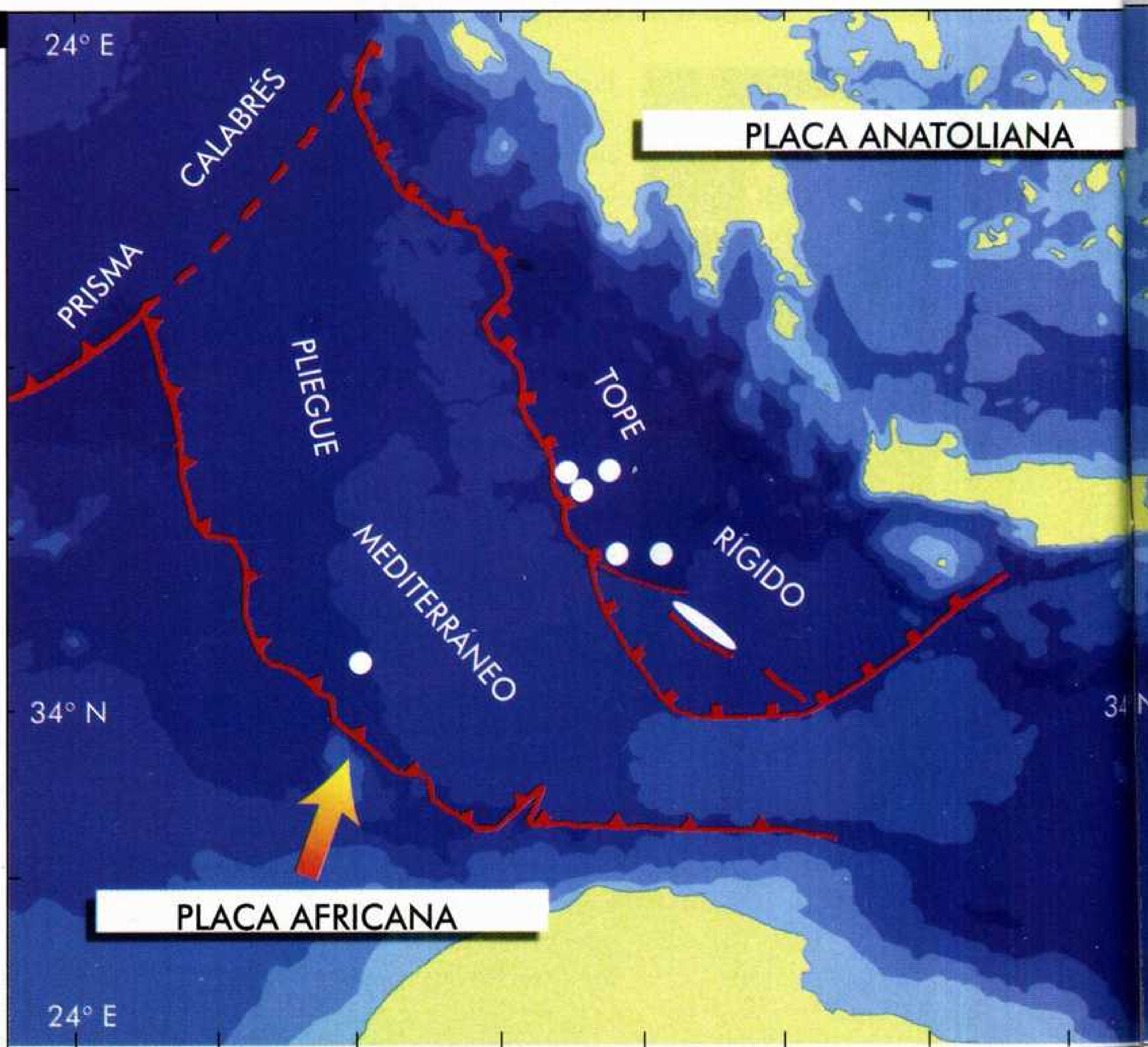
Atalante, *Urania* y *Discovery* son los nombres de los tres lagos salados que los científicos europeos, embarcados en el *Atalante*, el *Suroît*, el *Urania* y el *Discovery*, descubrieron a más de 3.300 metros de profundidad en el Mediterráneo oriental (programa MEDRIFF*)[1] El descubrimiento no llega solo, pues desde entonces otros lagos han sido localizados en la misma región, uno de ellos gigante (50 km de longitud por 2 o 3 kilómetros de anchura) (misiones TREDMAR y MÉDÉE*) (fig. 1).

El hecho no es excepcional, pues se sabe de la existencia de tales lagos en el Mediterráneo oriental desde 1983,[2] así como en el golfo de México y en el mar Rojo. Por primera vez, sin embargo, los recién nacidos han sido minuciosamen-

(1) MEDRIFF Consortium, EOS, *vol. 76-33*, 313, 1995.
(2) A. Camerlenghi y E. Erba, *Riv. It. Paleont. Strati. vol. 97-3*, 695, 1992.

Mundo Científico ha publicado:
(I) «El destino del Mediterráneo», abril, nº 1991.

Le Pichon, Escuela normal superior).



EL PROGRAMA EUROPEO MEDRIFF (Mediterranean Ridge Fluid Flow), iniciado en 1992, proseguirá hasta 1996. Está integrado en un programa más general de investigación del régimen de flujos fluidos de la arruga mediterránea (MAST II).

LA MISIÓN RUSA TREDMAR, a bordo del *Professor Logáchev*, fue realizada con el apoyo de la Unesco en el sur de Creta en agosto de 1995 (jefes de misión: Michael Ivánov y Anatoli Limónov, de la Universidad de Moscú; Jean-Paul Foucher, Ifremer).

LA MISIÓN FRANCESA INSU/CNRS MÉDÉE fue realizada a bordo del *Atalante* en julio de 1995. En su transcurso se cartografió un tercio del Mediterráneo desde Creta hasta las costas de Libia (jefes de misión: Nicolas Chamot-Rooke y Xavier Le Pichon, École normale supérieure.

te auscultados gracias a la panoplia ultramoderna de aparatos con que van equipados los buques oceanográficos: sondeador multihaz para la batimetría; sonar de barrido lateral situado cerca del fondo para visualizar las escarpaduras y las fallas, la forma de las depresiones, etc.; reflexión sísmica de alta resolución para determinar la naturaleza y la disposición de las capas geológicas; sonda térmica; extracción de muestras, etc. La imagen que se tiene actualmente de estos lagos salados es más precisa y cabe esperar que se descubran nuevos mecanismos para explicar su génesis.

Los lagos, de formas, tamaños y profundidades variadas, se adaptan a las anfractuosidades del fondo oceánico (fig. 2). Todos ellos tienen en común el ser mucho más salados que las aguas superiores; la concentración de cloruros rebasa allí los 100 g/l, por sólo 22 g/l en el Mediterráneo. Su temperatura es similar a la de las aguas superiores e incluso un poco mayor (unas décimas de grado), con una excepción, el lago *Urania*, donde el termómetro marca temperaturas próximas a los 17 °C (2 °C más que en las aguas superiores) y sube incluso a los 40 °C en determinados lugares.[1] Estas condiciones excepcionales hacen que las aguas se estanquen y nó se mezclen con las del mar (fig. 2).

¿Cómo explicar la presencia de estas fosas de salmuera en el fondo mediterráneo? *Urania*, *Atalante* y *Discovery*, como todos sus congéneres, están situados al sur de Creta, cerca de un prisma de acreción (llamado también «arruga mediterránea»), un monumental apilamiento de sedimentos que señala en la superficie el lugar donde África se hunde debajo de Europa.[1] Como destaca Nicolas Chamot-Rooke, del laboratorio de geología de la Escuela Normal Superior de París, los lagos no están dispuestos al azar sino concentrados en las zonas más fuertemente conmocionadas por la tectónica.[3] Se las encuentra sobre todo a lo largo de grandes desgarraduras que laceran el fondo oceánico. ¿Por qué allí y no en otras partes? La respuesta reside en las profundidades. El agua de mar se filtra a través de los sedimentos del prisma de acreción y se calienta al entrar en contacto con las rocas más profundas. Luego, asciende en forma de agua caliente cargada de sales de todo tipo (sulfato, cloruros, etc.) tomadas de las famosas evaporitas mesínicas, unas rocas depositadas a lo largo de varios miles de metros de profundidad hace unos 6 millones de años, cuando el Mediterráneo se secó.

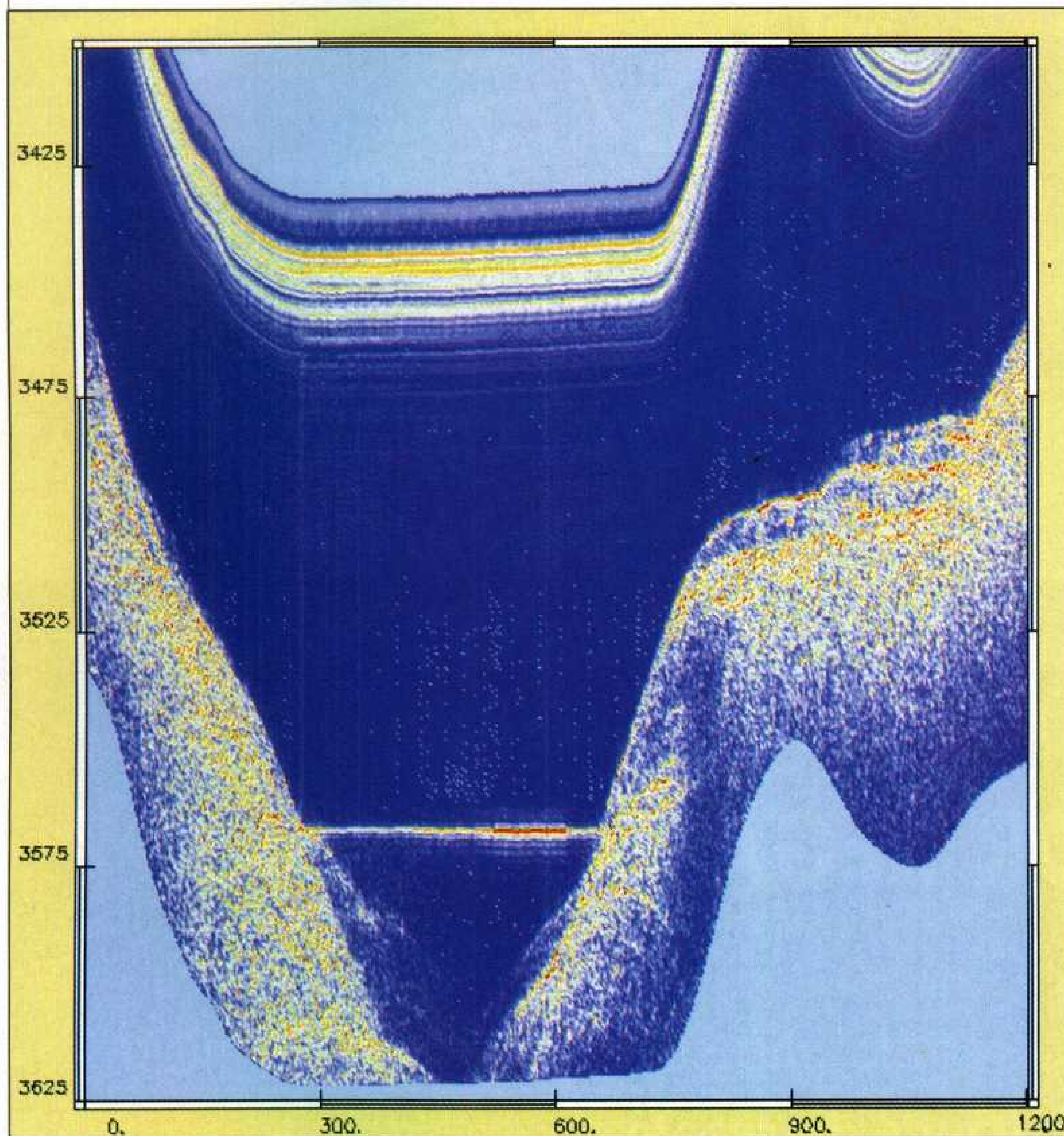


Figura 1. Se han localizado una decena de lagos salados en el fondo del Mediterráneo oriental, cerca de la arruga mediterránea, inmenso depósito de sedimentos que señala el hundimiento de África debajo de Anatolia (3,5 cm/año). De forma variada (herradura, banda o simplemente círculo), estas fosas de salmuera están localizadas en las regiones más fuertemente comprimidas, allí donde los sedimentos quedan aplastados por la presión del «tope rígido» (porción extremadamente rígida de Anatolia contra la cual chocan los sedimentos de la arruga) y la placa africana.

Figura 2. Las fosas de salmuera corresponden a la acumulación de fluidos profundos que surgen aprovechando la presencia de fallas en el suelo. Fuertemente enriquecidos en sal, estos fluidos densos no pueden mezclarse con las aguas mediterráneas superiores y se acumulan en las anfractuosidades del suelo. El hecho es claramente perceptible en esta imagen de alta resolución de Urania *obtenida por un sondeador montado sobre un sonar lateral (el SAR de Ifremer). El aparato está colocado a 100 m por encima del fondo. El fuerte reflector horizontal señala el límite entre un agua de salinidad media y un agua profunda sobresalada. Campaña JASON, S. Lallement (ENS París) y J.-P. Foucher. (Ifremer Brest.)*

Con las fosas de salmuera y los volcanes de lodo, la imagen de un mar Mediterráneo geológicamente «muerto» se desvanece definitivamente

Cuando llega a la superficie, el agua está sobresalada y sale de manera difusa por los poros de la roca. En ciertos lugares, sin embargo, debido a la presencia de fallas, las salidas quedan circunscritas, lo que produce los famosos lagos salados. Por tanto, la existencia de tales lagos parece estrechamente ligada a la de una tectónica activa. El mayor se encuentra precisamente allí donde el paquete de sedimentos está más aplastado.

La imagen de un mar Mediterráeno geológicamente «muerto» se desvanece definitivamente: las fosas de salmuera, lo mismo que la multitud de volcanes de lodo que jalonan el prisma de acreción, dan fe de intensos intercambios entre los sedimentos y el agua de mar.

Otros modelos, también muy clásicos, atribuyen la elevada salinidad del Mediterráneo (38 g/l por 35 g/l en el océano Atlántico) a una fuerte evaporación. ¿Están dichos modelos superados? Está claro que a partir de ahora habrá que integrar la fuente profunda de sal. La importancia relativa de uno y otro factor, sin embargo, está por cuantificar. La tarea es ardua, pues la lista de las fosas de salmuera dista de estar cerrada (se conocen hoy en día unas diez) y sólo lo estará cuando se haya cartografiado todo el mar Mediterráneo. F.L. ■

(3) X. Le Pichon et al., J. Geophys. Res. 100-B7, 12.675, 1995.

CIENCIA E INTERNET en España

UNA GUÍA CON MÁS DE 500 DIRECCIONES

por Isidro F. Aguillo

Este dossier comprende una amplia, rigurosa y sistematizada información, con más de 500 direcciones Web, organizadas por comunidades autónomas y por disciplinas científicas. Una visión actual y exhaustiva de un sector que representa en nuestro país un número importante de páginas Web.



CIENCIA E INTERNET EN ESPAÑA

Isidro F. Aguillo

Guía sistematizada de direcciones Web

La creciente popularidad de Internet y su cada vez mayor impacto en los centros universitarios y de investigación españoles se ha traducido en una importante presencia del sector público de I+D en la red. La disponibilidad de un Catálogo comentado de los recursos hipermedia («páginas www») puede ayudar a conocer mejor la actividad investigadora en nuestro país e incrementar el número de instituciones con presencia propia en Internet. El listado, organizado según Comunidades Autónomas, ofrece una visión actual y exhaustiva de un sector que representa en nuestro país más de 200.000 páginas www.

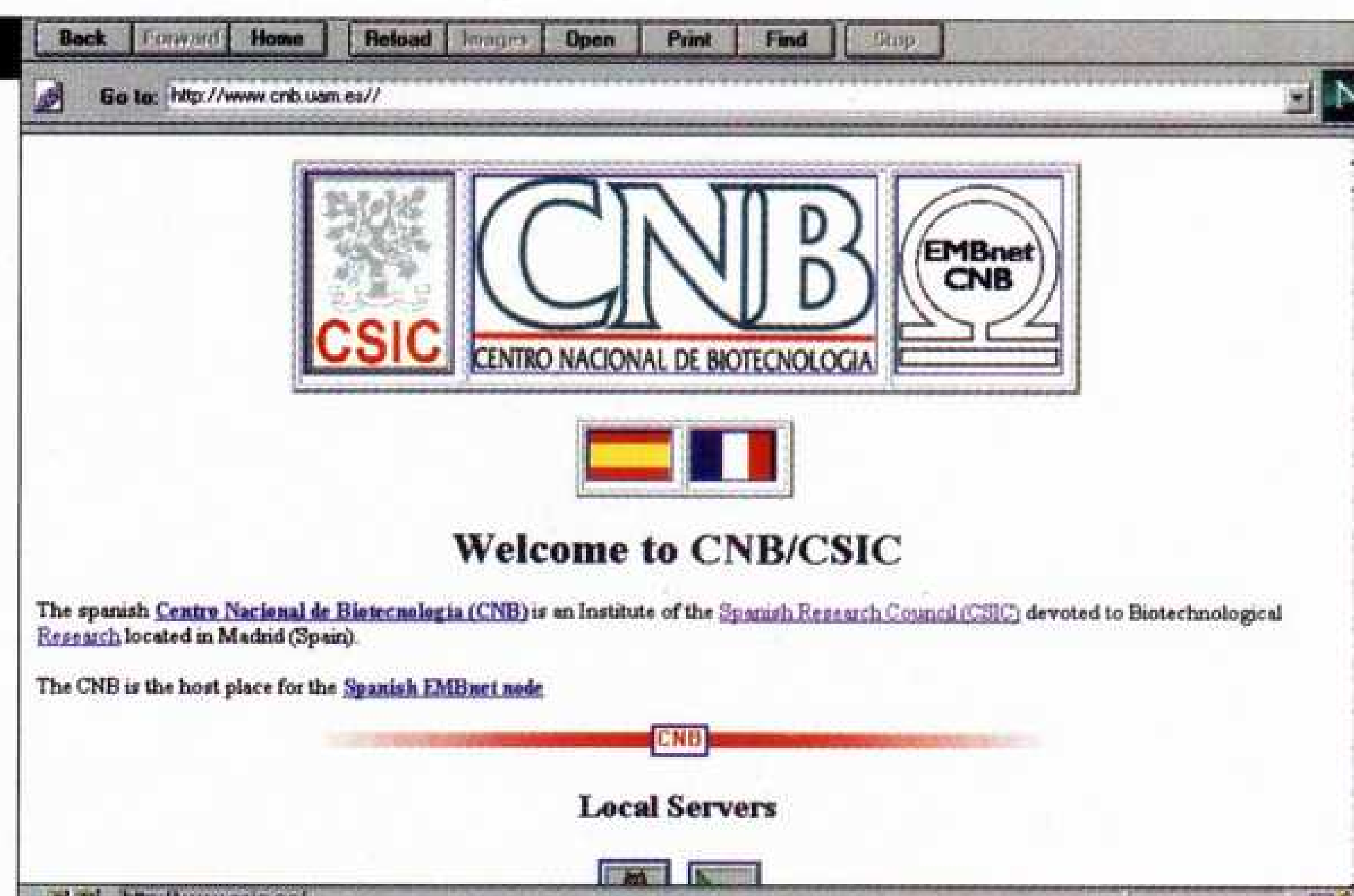
El objeto de este trabajo es detectar la presencia en Internet del sector público español con actividad en Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+D) de una forma eminentemente práctica. La situación, al comienzo del verano de 1996, se puede deducir a partir del listado organizado y no exhaustivo de las principales páginas hipermedia, esto es, bajo formato World Wide Web (WWW, en lo sucesivo simplemente Web) de los organismos públicos de investigación, incluyendo todas las Universidades españolas (incluso las privadas, por razones de homogeneidad), los centros del CSIC y todos aquellos otros OPI (Organismos Públicos de Investigación) de los diferentes niveles de la Administración (Estatal, Autonómica y Local). Se ha optado por un criterio amplio en cuanto a la inclusión de instituciones, pero restrictivo respecto a las páginas personales, que en términos generales no se mencionan.

A pesar de que se ha adoptado la decisión de no incluir la información que no esté organizada institucionalmente, ni lo que son fundamentalmente páginas personales, merece destacarse el Directorio de Revistas Universitarias Electrónicas

Asimismo, se han ignorado también las páginas relativas a sociedades científicas o profesionales, siempre que no estén claramente individualizadas. Se han hecho algunas excepciones, especialmente en lo que se refiere a grupos de trabajo multinacionales con una estructura consolidada.

Las valoraciones reflejan únicamente la opinión del autor y deben entenderse a nivel indicativo, teniendo en cuenta que el carácter volátil y la dinámica de la información en la red pueden convertir dichos comentarios en obsoletos en un breve periodo de tiempo. Cualquier información o rectificación al respecto que se produzca solo redundaría en mejorar el conocimiento de la realidad española en I+D.

La información está clasificada por Comunidades Autónomas, de forma que se puede estimar el volumen relativo de servidores Web según regiones. A continuación, bajo cada Comunidad, se ordena la información según los epígrafes Administración Pública (si procede), Universidad/es, CSIC y Otros OPI (Organismos Públicos de Investigación), más el caso de Madrid donde existe un apartado específico de Administración Central.



ANDALUCÍA

Administración Pública

Resultan importantes los contenidos del servidor de la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía, con detalles del Plan Andaluz de Investigación.

Universidades

La **Universidad de Almería** tiene un Web con un diseño elegante, la mayor parte del servidor se encuentra en construcción.

En la **Universidad de Cádiz** se nos ofrecen una serie de herramientas de navegación Internet antes de pasar a las descripciones e información general. Merced a la guía de un «manual de estilo», las distintas unidades de investigación siguen una estructura de información común, aunque muchas de ellas todavía están«en construcción».

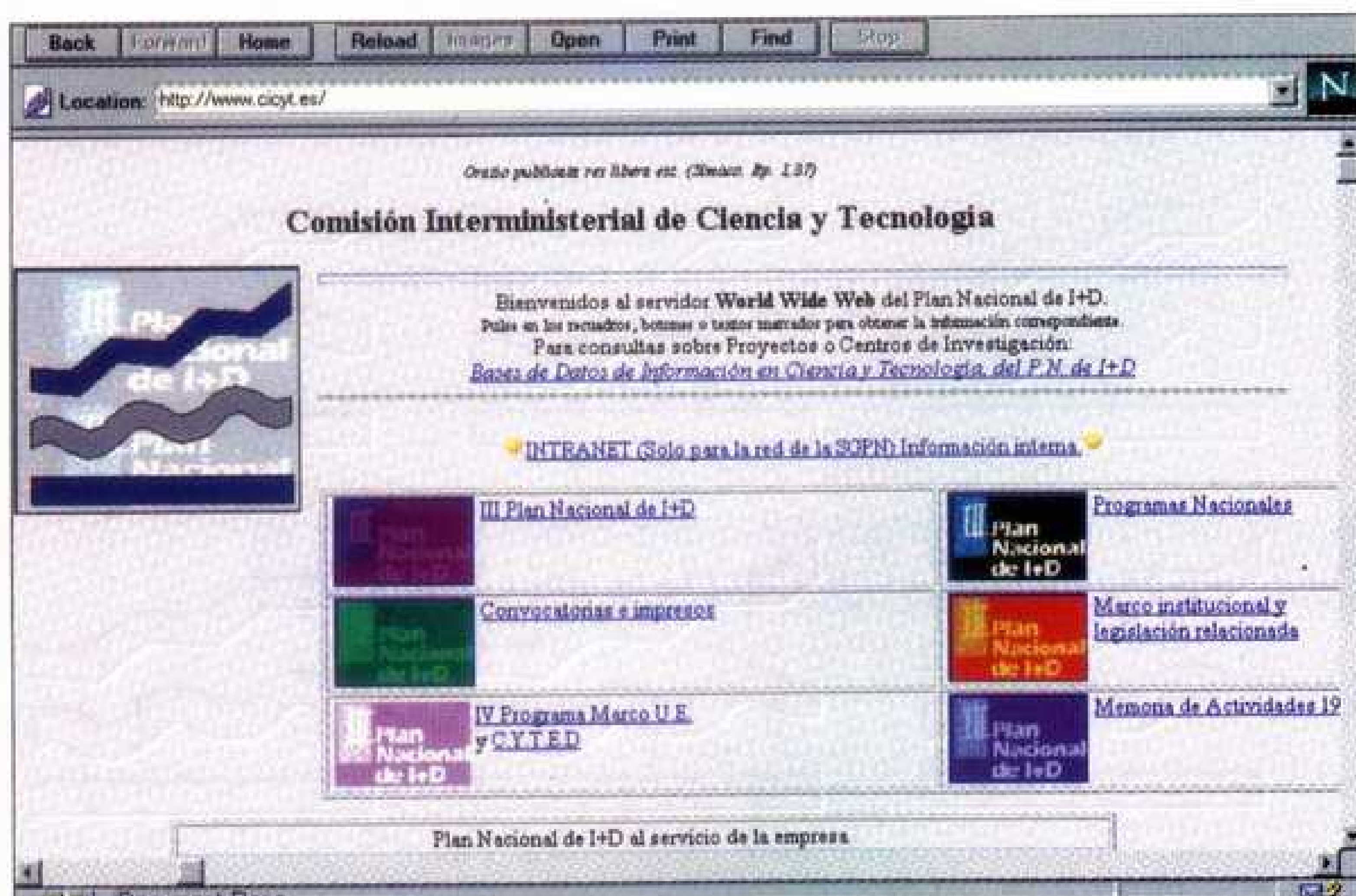
Más completa es la información ofrecida desde la **Universidad de Huelva**, que además de las páginas institucionales, presentan los servicios de distintos departamentos «en construcción», y más desarrollados los del Departamento de Ingeniería Electrónica, de Sistemas Informáticos y de Automática. La **Universidad de Granada** posee uno de los servidores más importante y visitado de Andalucía.

En esta Universidad tiene su sede CODIBUCE, la Conferencia de Directores de Bibliotecas Universitarias y Científicas Españolas, cuyas páginas son referencia obligada para conocer el estado de la biblioteconomía en España.

Como Centro Mixto con el CSIC, funciona el Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra con un servicio todavía modesto.

Todavía en fase de construcción se encuentran las páginas de la **Universidad de Jaén**, aunque el Departamento de Electrónica, presenta un curso de HTML en castellano y el proyecto UNIVER (Universidad Verde). Las páginas sobre el aceite de oliva merecen una visita.

UCONet es el nombre de la red de la **Universidad de Córdoba**, cuya página central minimalista y esquemática ofrece, no obstante, importante y variada información tanto interna como externa.



La **Universidad de Málaga** presenta un listado «largo» de enlaces que incluye no sólo información general, sino también servicios y recopilaciones.

La **Universidad de Sevilla** no dispone de un servidor central, aunque se puede obtener la información general en el Centro de Proceso de Datos. Sus departamentos se acceden independientemente.

La **Universidad Internacional de Andalucía** forma parte del sistema universitario andaluz con una fuerte vocación iberoamericana, lo que se evidencia en sus, escasas, páginas.

CSIC

La Estación Experimental del Zaidín posee uno de los más completos servicios Web entre los Centros del CSIC, que no llegan en general al nivel ofrecido por las Universidades punteras. Igualmente, se puede indicar que los contenidos de la Estación Experimental de Zonas Áridas son de carácter descriptivo institucional. El Instituto de Astrofísica de Andalucía tiene un servidor «esquelético», vacío de contenidos en este momento, con la salvedad de la Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico.

Otros OPI

El CICA, Centro Informático Científico de Andalucía es el proveedor de servicios Internet, vía Red Iris, a todo el sector público andaluz de I+D y el nodo central de la Red Informática Científica de Andalucía (RICA).

El Centro Astronómico Hispanoalemán de Calar Alto, en Almería, indica en su servidor las características de sus principales instrumentos, y abundante información científica, con «sabor» alemán. Próxima geográficamente se encuentra la Plataforma Solar de Almería, también con servidor propio.

La Comisión Europea mantiene los Joint Research Centers, uno de los cuales, con sede en Sevilla, es el «Institute for Prospective Technological Studies», cuyo Web se encuentra en continua expansión y en el que se explican proyectos y se citan publicaciones.

CENSOLAR, Centro de Estudios de la Energía Solar incluye información interesante sobre su área específica.

ARAGÓN

Universidades

En la **Universidad de Zaragoza** la información está distribuida en varios servidores diferentes, de modo que no sólo en el central se pueden encontrar datos de carácter general o extra-académicos. Como mínimo, podríamos hablar de una disposición bicéfala, ocupando el otro vértice el servidor del Centro de Documentación Científica, un modelo de organización con información inesperadamente valiosa.

Otros OPI

El Instituto Tecnológico de Aragón es una iniciativa del Gobierno de Aragón y a través de él se articulan algunos recursos interesantes, entre los que destaca el Instituto Aragonés de Estadística.

ASTURIAS

Universidades

Uno de los más importantes servidores Web en España se encuentra en la **Universidad de Oviedo**, no sólo por la abundante información de carácter general que proporciona, sino también por ser la sede de alguno de los catálogos más interesantes de recursos Internet. Éstos se encuentran localizados en el Vicerrectorado de Estudiantes y Extensión Universitaria, e incluyen los mapas de servidores Web, Ftp, Gopher y Bibliotecas y el MIBI, un metaíndice bastante útil.

Como resultado de distintos proyectos se han instalado los servidores TATIANA sobre procesos de imágenes y citometría, HISPALINK sobre economía aplicada, Filosofía en Español y el AuroraMUD sobre Muds.

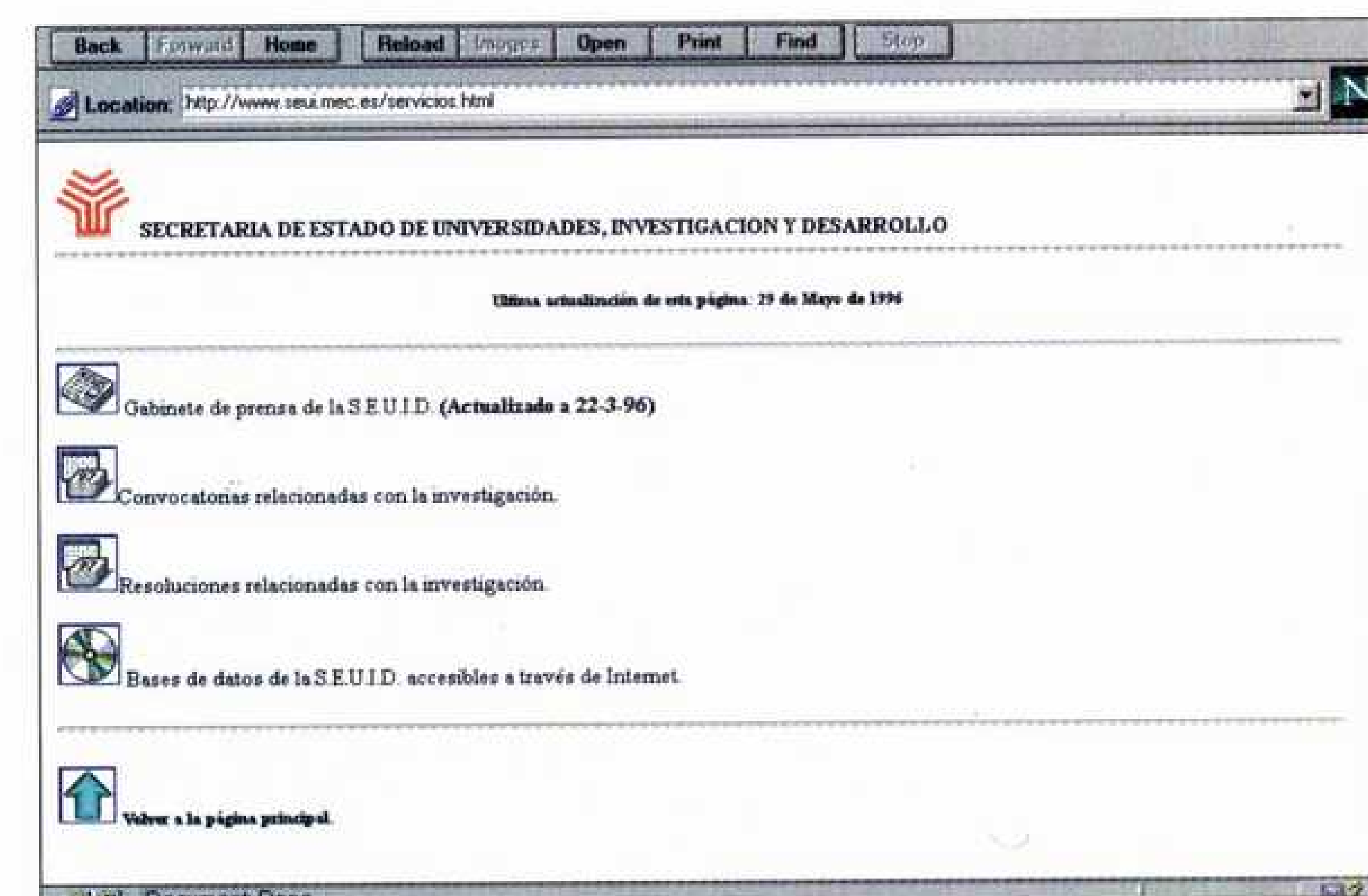
CSIC

En el Principado el único Centro del CSIC con servidor Web es el INCAR, Instituto Nacional del Carbón, en el que poco a poco van apareciendo los diferentes departamentos de investigación.

BALEARES

Universidades

La **Universidad de las Islas Baleares** alberga un gran número de recursos socioculturales en el más amplio sentido, con informaciones turísticas, deportivas y comerciales.



CSIC

El IMEDEA, Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados es un Centro Mixto entre el CSIC y la Universidad, cuyo servidor aborda las temáticas propias del Instituto (recursos naturales y aspectos interdisciplinares de la física).

CANARIAS

Universidades

La red interna (CWIS) de la **Universidad de Las Palmas de Gran Canaria** está fielmente reflejada en su extenso, variado y heterogéneo servidor central, con una página de presentación que nos da adecuada idea del volumen de los contenidos. La entidad responsable es el CICEI, Centro de Informática y Comunicaciones del Edificio de Ingenierías.

En la **Universidad de La Laguna (Tenerife)**, la Facultad de Medicina, que participa en el proyecto ECTS (Erasmus) y, especialmente, la Facultad de Química, describen a través de la red sus recursos y programas de investigación. En esa última se pueden encontrar los Institutos Universitarios de BioOrgánica «Antonio González» y el Instituto de Productos Naturales y Agrobiología de Canarias, que depende orgánicamente del CSIC.

CSIC

Como se indicó anteriormente, en el campus de La Laguna se encuentra situado el Instituto de Productos Naturales y Agrobiología de Canarias.

Otros OPI

Destaca especialmente el Instituto de Astrofísica de Canarias, con un servidor bilingüe que contiene un gran volumen de información, con una Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación y páginas para diversas asociaciones de astrónomos aficionados (Agrupación Astronómica de Sabadell, de Tenerife, de Madrid, de Gran Canaria, de Observadores de Meteoros y Cometas). El Grupo de Telescopios «Isaac Newton», situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos tiene su propio servidor.

El Instituto Tecnológico de Canarias con la colaboración de la Consejería de Industria y Comercio ofrece sus servicios como agencia tecnológica y de distintos laboratorios de investigación.

El Jardín Botánico Canario «Viera y Clavijo», dependiente del Cabildo Insular de Gran Canaria, ofrece páginas muy visuales y detalle de los cursos que organizan.

CANTABRIA

Universidades

La **Universidad de Cantabria** tiene uno de los primeros servidores Web instalados en nuestro país, lo que explica el denso contenido tanto en términos académicos como socioculturales.



CSIC

El IFCA, Instituto de Física de Cantabria, es un Centro Mixto del CSIC y la Universidad es uno de los primeros centros españoles que montó un servidor Web. En el mismo destacan especialmente las páginas del Departamento de Estructura de la Materia, Altas Energías y Física Estadística.

CASTILLA-LA MANCHA

Universidades

La **Universidad de Castilla-La Mancha** no dispone realmente de páginas centrales, al ser su servidor responsabilidad directa del Servicio de Informática.



CASTILLA-LEÓN

Universidades

La **Universidad de Salamanca** no ha transferido aún su información general desde el formato Gopher al que se remite desde su página principal.

Las páginas centrales de la **Universidad de Valladolid** funcionan como índice de acceso a los recursos independientes, que son relativamente numerosos.

La **Universidad de León** no está presente en formato hipermedia en Internet.

CATALUÑA

Universidades

La **Universidad Autónoma de Barcelona** tiene un servidor central muy amplio, con información múltiple y variada sobre su estructura, servicios (incluyendo biblioteca y librería) y datos de utilidad general. Su Centro de Cálculo tiene a disposición de sus alumnos y profesores varias estaciones de trabajo. Sin embargo, la presencia de sus departamentos e institutos es relativamente discreta.

Mención aparte merece el servicio Tau, Telemática en la Universidad y los Institutos de Física de Altas Energías; y el Centro de Visión por Computador, un Centro mixto con la Generalidad de Cataluña. En construcción se encuentra el Web de la Unidad de Diagnóstico para la Imagen de Alta Tecnología.

Cabe mencionar que el Web de la **Universidad de Barcelona** es espectacular, con un amplio abanico de posibilidades,



donde destaca una abrumadora oferta de servicios. Un buen número de departamentos están todavía en construcción.

La **Universidad Politécnica de Cataluña** dispone de un catálogo muy completo de servicios, aunque en este caso el gran número de servidores independientes aconsejan la utilización de éstos para casos concretos. Así destacaremos por su carácter centralizado, en primer lugar, el Servicio de Bibliotecas, uno de los mejores estructurados, y el de los Servicios Informáticos.

La **Universidad Pompeu Fabra** es una de las más jóvenes Universidades de Cataluña, con un volumen reducido de enseñanzas todavía.

La presentación de la **Universidad de Gerona** es muy tradicional, con un listado de enlaces, detallando las principales categorías de información. Entre los servicios destacaremos el SIGTE, Aplicaciones con la Información Geográfica y la Biblioteca.



La **Universidad de Lérida** ya tiene operativas sus páginas centrales en catalán, a través de las cuales se accede a la información general. Además disponen de servidores propios la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, la Facultad de Letras, con la revista electrónica *L'Alfaweb* y el Servicio de Biblioteca y Documentación.

El Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria está radicado en el mismo campus y utiliza la infraestructura telemática de la **Universidad de Lérida**. Dispone de un boletín electrónico y varias bases de datos, así como un servidor ftp especializado.

La **Universidad Rovira i Virgili**, con sede en Tarragona, ofrece múltiple información académica y extraacadémica, aunque con cierta propensión hacia esta última.

La **Universidad Abierta de Cataluña** es pionera en el campo de la enseñanza universitaria a distancia. El «campus virtual» dista todavía de estar completo, lo que limita considerablemente su utilidad.

La **Universidad Ramón Llull** es una institución privada, resultado de la fusión de varios Centros, algunos de ellos con marcada presencia independiente en Internet.

CSIC

En el campus de la UAB se encuentra el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona, que forma parte del grupo de ocho Centros del CSIC dedicados a esta temática, y para el que actúa como Web central.

En este mismo campus se encuentran el Centro Nacional de Microelectrónica y el Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial, cuyos servidores proporcionan considerable información sobre sus actividades y los programas de investigación en los que están involucrados.

Existen unas páginas sobre el barco de exploración antártica *Hespérides*.

El Instituto de Ciencias de la Tierra «Jaume Almera» acaba de estrenarse en Internet y posiblemente sirva de pasarela para otros Centros dependientes de la Delegación de Barcelona.

Otros OPI

El Instituto de Estudios Catalanes, entidad promovida por la Diputación de Barcelona, mantiene información de sus múltiples y variadas, temáticamente, secciones y de diferentes Institutos, uno de los cuales tiene presencia propia en Internet: el Centro de Investigación Matemática, que ofrece una biblioteca electrónica de artículos de topología.

La Fundación Catalana para la Investigación promueve muchas de sus iniciativas a través de Internet, dando servicio a distintas instituciones.

La Generalidad de Cataluña mantiene la Red Telemática Educativa de Cataluña desde donde se desarrolla el Programa de Informática Educativa, con numerosos recursos de carácter divulgativo.

El Centro de Computación y Comunicaciones de Cataluña es una iniciativa conjunta de la Generalidad, la Fundación Catalana para la Investigación y la **Universidad Politécnica de Cataluña** para potenciar el uso a través de la «Anella Científica» de la FCR de los recursos de computación catalanes. En su servidor se encuentra el noticiario Teraflop, así como información relativa a su estructura y actividades.

COMUNIDAD VALENCIANA

Administración Pública

La Generalidad Valenciana, a través del IMPIVA, el Instituto Valenciano de la Pequeña y Mediana Empresa, da información escueta a través de Internet de su red de Institutos Tecnológicos. También la Consejería de Cultura, Educación y Ciencia ofrece datos de interés regional.



Universidades

La **Universidad de Alicante** está muy bien representada en Internet a pesar de tratarse de una institución aún pequeña y joven. El índice real queda oculto tras la habitual página de iconos, y aunque prolijo en exceso, resulta práctico. El CENEMES, Centro de Enlace del Mediterráneo Español, coordina to-

das las OTRIs de las universidades mediterráneas españolas. Un servidor muy centrado en los servicios Internet es el que presenta la **Universidad de Valencia**, con una larga lista de facultades y departamentos con páginas Web propias.

En términos de ordenadores conectados a Internet, la **Universidad Politécnica de Valencia** es una de las líderes en nuestro país, lo que se puede apreciar en la cantidad de información que proporcionan sus numerosos servidores.

Entre los servicios, destacaremos la biblioteca con un OPAC accesible desde interfaz Web, el Instituto de Ciencias de la Educación, donde está radicada la sección española de la Asociación Internacional de Pedagogía Universitaria, el Centro de Relación con el Entorno Socioeconómico, donde tiene sus páginas el Centro de Transferencia de Tecnología y el Centro de Proceso de datos. La UPV participa en numerosos programas internacionales, como lo atestiguan las páginas correspondientes de su servidor, incluyendo los habituales de la Comisión Europea (Sócrates, Erasmus, Lingua, Leonardo, Alfa, ECTS, Tempus...) y Eurocall'95, sobre enseñanza automatizada de idiomas.

Aunque históricamente la **Universidad Jaume I de Castellón** fue la primera en disponer de un servidor Web en nuestro país, aún no existen como tales las páginas centrales de dicha Universidad, de forma que es el Departamento de Educación el que mantiene el famoso Mapa de Recursos Internet en España, amén de un servidor propio, llamado Nuevas Tecnologías de la Información Aplicadas a la Educación.

CSIC

El servidor Web del Instituto de Ciencia de Materiales de Valencia mantiene un servidor propio, aunque con muchos enlaces cruzados.

El Instituto de Física Corpuscular del CSIC dispone de una serie de servidores mixtos con la **Universidad de Valencia**.

Otros OPI

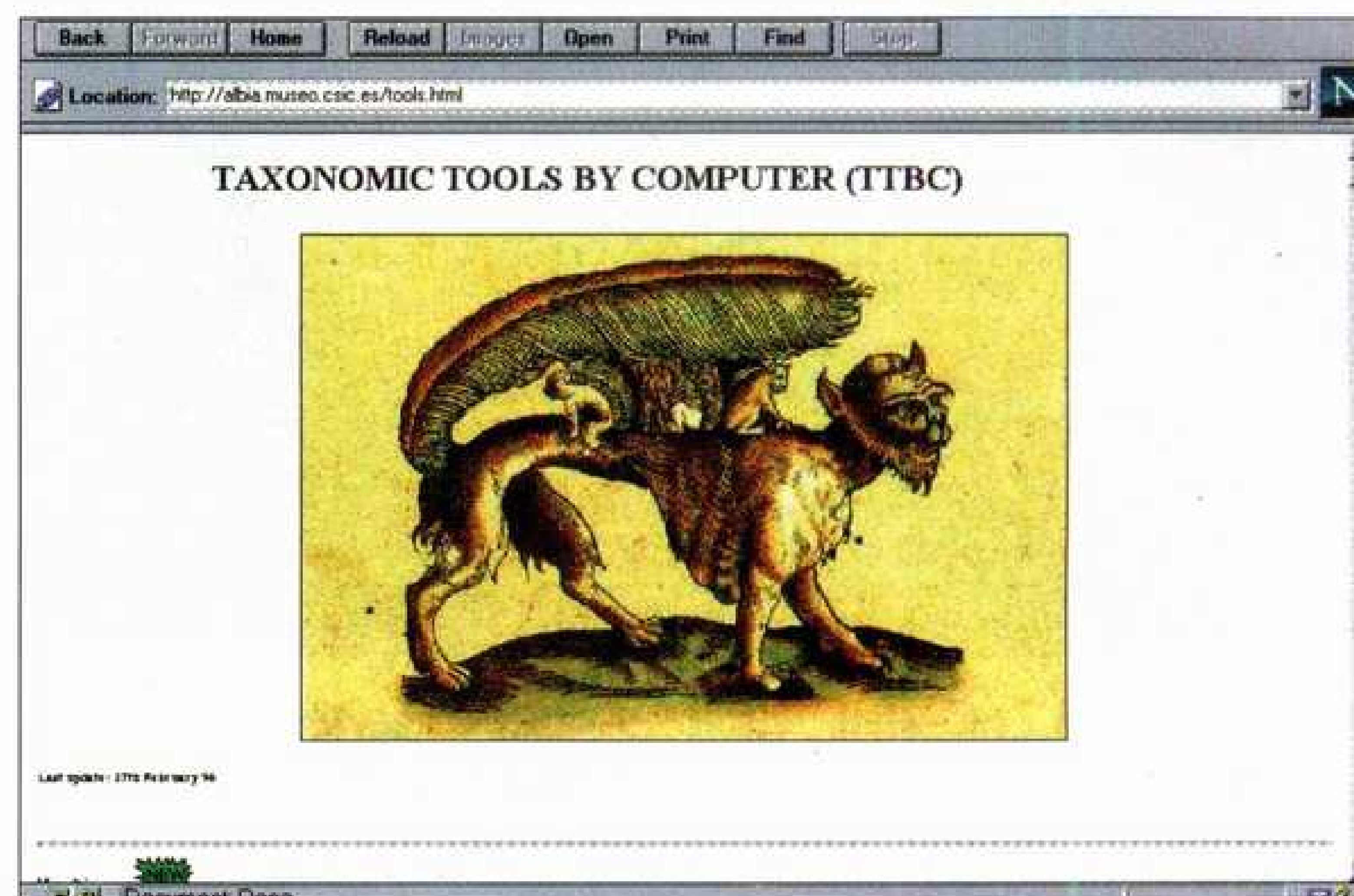
Se puede acceder al Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, con bastante información de sus actividades, incluyendo una OTRI propia, y páginas específicas de los principales proyectos de investigación que lleva a cabo.



EXTREMADURA

Universidades

La **Universidad de Extremadura** ofrece un servidor central muy sobrecargado, aunque con escasa representación institucional. Resulta, sin embargo, muy útil por la exhaustividad del tratamiento, y los enlaces a los diferentes servidores.



GALICIA

Universidades

El servidor de la **Universidad de La Coruña** ofrece directamente, además de la habitual información sobre la Universidad, enlaces con otros recursos en Internet.

La **Universidad de Vigo** no dispone de páginas centrales, aunque los departamentos representados en la red ofrecen numerosos servicios y gran cantidad de información, obviamente especializada. El Web del Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones dispone de servidores de listas y software, además de información sobre Randex, un sistema para intercambio electrónico de documentos. El Departamento de Tecnología Electrónica resulta útil por sus contenidos genéricos, aunque los propios todavía están por incorporar. El campus de Orense ofrece su imagen institucional a través del servidor de la EUET en Informática de Gestión.

Las páginas centrales de la **Universidad de Santiago de Compostela** son muy densas, ofreciendo enlaces directos a sus departamentos, sin perjuicio del suministro de la información de carácter general.

Entre los servicios destacaremos el Centro de Transferencia de Tecnología, con detalle de los programas europeos y el Servicio de Comunicaciones, que incluye documentación y manuales sobre Internet en gallego.

Otros OPI

El CESGA, Centro de Supercomputación de Galicia, actúa como centro de cálculo de altas prestaciones y también como eje de la red que interconecta a las universidades y centros de investigación gallegos. Incluye información sobre el Parque Tecnológico de Galicia.

MADRID

Administración Central

En esta sección se ha incluido la relación de servidores de la Administración Central con sede en Madrid, pero de ámbito español. Los más importantes son los que dependen del Ministerio de Educación y Cultura: La Secretaría de Estado de Universidades e Investigación, fuente fundamental para lograr in-

formación sobre los programas nacionales y europeos de I+D; y la CICYT, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, fuente imprescindible de formularios para becas y solicitud de proyectos de investigación.



Universidades

Actualizadas recientemente, las páginas de la **Universidad Autónoma de Madrid** ofrecen el cóctel habitual de información académica y paraacadémica. El equipo central ha realizado un fuerte esfuerzo en el diseño del servidor central, que se manifiesta en la asunción de un cierto «libro de estilo».

La Fundación General de la UAM desempeña un amplio abanico de actividades, entre las cuales se incluyen la realización de proyectos de I+D, aparte de realizar un gran número de cursos y masters.

La **Universidad Complutense de Madrid** es la mayor Universidad española, lo que se nota es un, más bien abigarrado, servidor central. La información general deja paso inmediatamente a una situación distribuida bastante heterogénea, en la que no están representados, ni mucho menos, todos los departamentos de la Universidad.

El Colegio Universitario de Estudios Financieros, iniciativa mixta de la Complutense y la Asociación Española de la Banca Privada, ofrece información fundamentalmente académica.

También la **Universidad Politécnica de Madrid** está bien representada en la red, con información institucional muy detallada y un gran número de servicios y departamentos con presencia autónoma.

Entre los servicios generales, se cita por su indudable interés el CEYDE (Gabinete de Documentación Científica y Centro de Documentación Europea).

Se incluyen también, por último, como centros de investigación de la UPM, el Instituto de Fusión Nuclear y CIPRES, el Centro de Investigación para la Promoción de Redes y Servicios Telemáticos.

Recientemente, la **Universidad de Alcalá de Henares** ha instalado un servidor central desde el que se puede acceder a las líneas de investigación de sus diferentes departamentos, al catálogo de su Biblioteca y, por supuesto, información general..

Entre los programas destaca Unibeurinfo, un sistema de información sobre enseñanza universitaria desarrollado por el INECAM, Instituto Euroamericano de Cultura, Ciencia y Comunicación. Hay asimismo una excelente guía de Internet en castellano.

La **Universidad Carlos III de Madrid** acaba de proceder a una profunda remodelación de su servidor central, elegante y con muchos detalles académicos y generales y acceso a información «normalizada» de los diferentes departamentos e institutos, por completar.

Como en otros casos, numerosos profesores y alumnos mantienen páginas personales de gran interés ocasional, lo que incrementa el contenido global de los servidores.

La **Universidad Nacional de Educación a Distancia** está reforzando su presencia en Internet como parte importante de su esfuerzo formativo. Sus páginas centrales no tienen nada que envidiar a las de las instituciones tradicionales.

Entre las Universidades privadas madrileñas, la presencia de alguna de ellas es puramente testimonial, como en el caso tanto de la **Universidad Europea de Madrid CEES**, con descripciones no demasiado elaboradas aún, como de la **Universidad Alfonso X El Sabio**.

Las excepciones son la **Universidad Pontificia de Comillas**, que ofrece bastante información académica, aunque muchas secciones están todavía «en construcción», y la **Universidad San Pablo**, que, aunque sobre una máquina alquilada, presenta un sobrio resumen de sus objetivos, estructura y actividades.

CSIC

El CSIC, Consejo Superior de Investigaciones Científicas ofrece un servidor austero y más bien poco denso, que en realidad da paso a algunos de los servidores Internet más importantes, en varios sentidos, de nuestro país.

Evidentemente, dentro del CSIC ocupa una posición central la Red IRIS, ya que como suministrador de servicios Internet para el sector público de la I+D ha asumido también misiones de catalogación de recursos a nivel nacional. En continua reconversión, su futuro catálogo temático será un referente obligado.

El CBIC, Centro de Coordinación de las Bibliotecas del CSIC, ofrece un alto número de interesantes enlaces, pero sobre todo una pasarela Web muy intuitiva a su importante OPAC.



Otros OPI

El CIEMAT, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, presenta un servidor de información con un diseño muy elegante, aunque no todos los enlaces ofrecen la misma profundidad de contenidos.

El CEDEX, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, ofrece una buena representación de sus numerosos centros de estudios y laboratorios.

La Agencia Espacial Europea (ESA) posee dos servidores, uno con sede en Villafranca y otro es el Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental, este último con gran can-

tidad de enlaces e información, que fue creado por iniciativa del INTA, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, también presente en Internet.

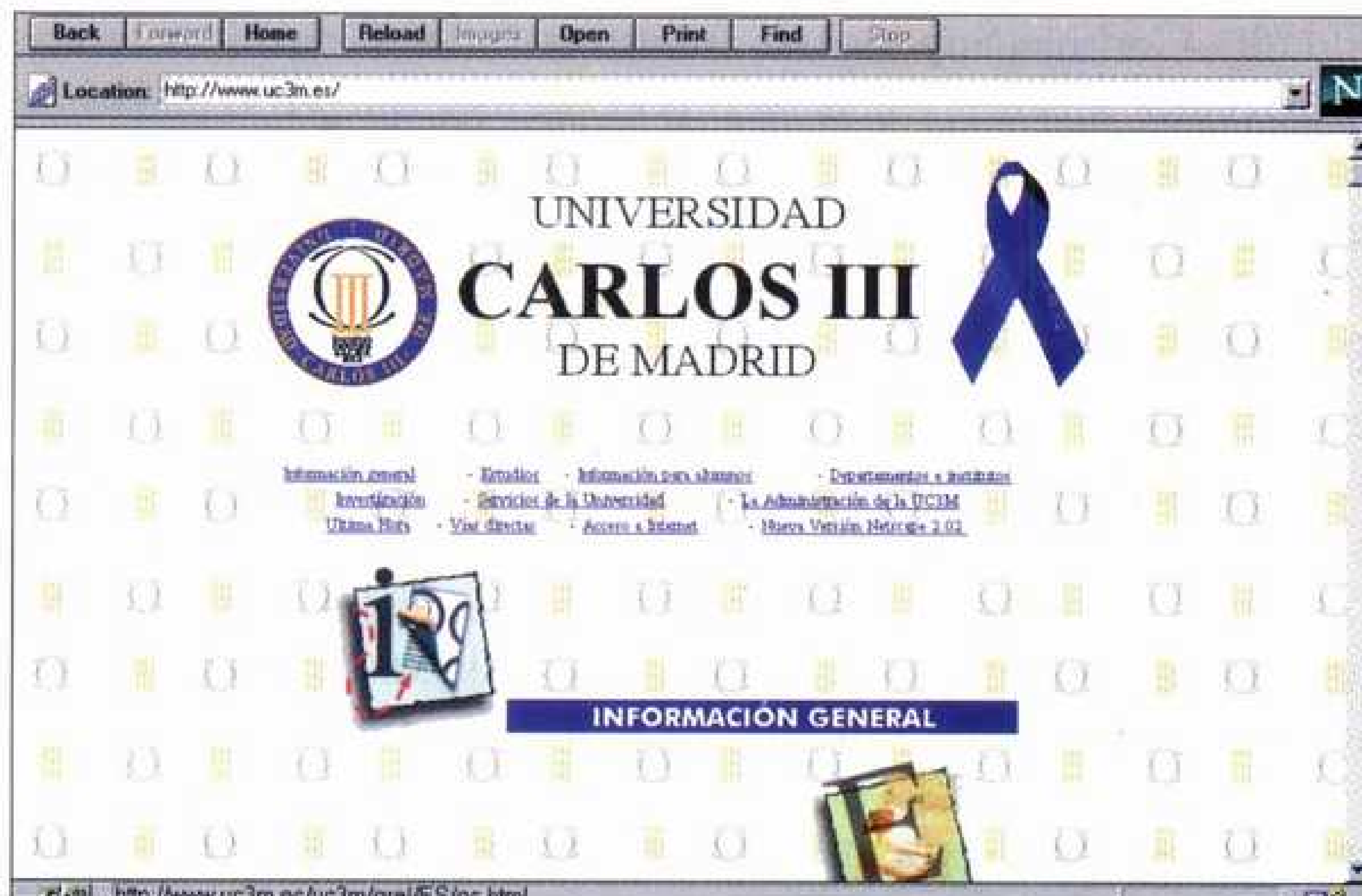
El Instituto de Salud Carlos III y, dentro de él, el Centro Nacional de Epidemiología ofrecen una notable cantidad de información bien organizada y actualizada. También realizan investigación, de lo que queda constancia (escasa) en su servidor Web, el Hospital «Ramón y Cajal».

Dependiente del Instituto Geográfico Nacional, el Observatorio Astronómico Nacional ofrece desde sus páginas información sobre los radiotelescopios de Yebes (Guadalajara), los Telescopios de Calar Alto (Almería) o el IRAM.

MURCIA

Universidades

La **Universidad de Murcia** ofrece una considerable cantidad de información, tanto docente como de I+D, incluyendo la excelente e intuitiva pasarela gráfica al OPAC de la Biblioteca.



NAVARRA

Universidades

La **Universidad de Navarra** es una institución privada, con un servidor discreto, pero muy completo en cuanto a la información académica que proporciona. Además, la **Universidad de Navarra** mantiene otros centros fuera de Navarra (San Sebastián, Madrid y Barcelona), algunos de los cuales tiene presencia en Internet.

La **Universidad Pública de Navarra** es una institución de muy reciente creación, lo que justifica un Web esquemático.

Otros OPI

La Asociación de Industria Navarra ofrece un servidor con un Boletín Tecnológico y acceso a bases de datos de salud, higiene en el trabajo y medio ambiente e información dentro del área de transferencia y aplicación de resultados de la investigación tecnológica.

PAÍS VASCO

Universidades

En la dirección central de la **Universidad del País Vasco** se da acceso a todos los servidores según su localización geográfica, aunque como dicha dirección es también la del Campus de Lejona, no toda la información está distribuida y allí se puede encontrar los detalles académicos habituales.



La **Universidad de Deusto** es una Universidad privada, con campus en Bilbao y San Sebastián, que ofrece en sus páginas centrales información de carácter académico muy estructurada, por lo que ningún departamento o facultad ofrece un servicio diferenciado.

También en el ámbito privado se encuentra la Escuela Europea de Estudios Universitarios y de Negocios.

Otros OPI

De los centros de investigación bajo el amparo del Gobierno Vasco, dos de ellos están presentes en Internet: CEIT, Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa, y LABEIN, Centro de Investigación Tecnológica.

Aunque sea una iniciativa privada, el Instituto Europeo de Software también está tutelado por el Gobierno Vasco, con una perspectiva claramente europea.

Esta somera descripción de recursos del sector público ha dejado fuera la participación de la I+D privada, que será objeto de un análisis posterior, y de los llamados recursos de referencia, que se abordarán en un marco global, junto con las herramientas tradicionales de búsqueda.

Asimismo, merecerá la pena en el plazo de un año seguir la evolución de la información que se ha presentado, augurando el autor un crecimiento explosivo del número y calidad de las páginas.

I.F.A. ■

Para más información

■ La mejor fuente de información adicional es la propia red, cuyo ritmo de actualización garantiza las últimas incorporaciones. Para acceder a dicha información utilice algunos de estos buscadores:
Altavista (www.altavista.digital.com); Yahoo (www.yahoo.com); Lycos (www.lycos.com); Excite (www.excite.com); Infoseek (guide.infoseek.com); Hotbot (www.hotbot.com); Olé (www.ole.es); Dónde (donde.uji.es).

■ Todos aquellos que estén interesados en ampliar esta información o aportar alguna sugerencia pueden dirigirse a:
Isidro F. Aguillo.
Centro de Información y Documentación Científica. CINDOC-CSIC.
Joaquín Costa 22. 28002 Madrid.
isidro@cindoc.csic.es

CIENCIA INTERNET

ANDALUCÍA

Admón. Pública

Directorio de Revistas Universitarias Electrónicas .... **www.uv.es/~solerm/scem/esonline.html**
Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía .... **www.cec.caan.es**
Instituto Andaluz del Deporte .... **www.uida.es**
Parque Tecnológico de Andalucía .... **www.pta.es**
Sistema de Información Ambiental de Andalucía .... **www.cma.caan.es**
Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Andalucía .... **www.cica.es/aliens/sveacsa/svea.htm**
Área Hospitalaria de Valme **linux.valme.sas.cica.es/inf1.htm**

Universidades

Almería

Universidad de Almería .... **www.ualm.es**

Cádiz

Universidad de Cádiz .... **www.uca.es**

Huelva

Universidad de Huelva .... **www.uhu.es**
Departamento de Ingeniería Electrónica,
de Sistemas Informáticos y de Automática **gaetano.uhu.es/pagina1/pdptismap.html**
Servicio Central de Informática .... **www.cic.uhu.es**

Granada

Universidad de Granada .... **www.ugr.es**
Facultad de Farmacia .... **www.ugr.es/~genfarma**
Dpto. de Histología y Biología Celular .... **histolii.ugr.es**
Dpto. de Ciencias de la Computación e IA .... **decsai.ugr.es**
Dpto. de Electrónica y Tecnología de Computadores
Grupo CASIP .... **magina.ugr.es**
Grupo Geneura .... **ka-lel.ugr.es**
Procesamiento de Señales y Comunicaciones .... **ceres.ugr.es**
Dpto. de Física Aplicada
Física de Fluidos y Biocoloides .... **langmuir.ugr.es**
Dpto. de Física Teórica y del Cosmos .... **deneb.ugr.es**
Dpto. de Historia Antigua .... **www.ugr.es/~hantigua**
Dpto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos **lsihp0.ugr.es/hp/hp.html**
Dpto. de Mineralogía y Petrología .... **dalila.ugr.es/~jdmartin**
Dpto. de Geodinámica .... **carpanta.ugr.es**
Dpto. de Prehistoria y Arqueología .... **www.ugr.es/prehistoria/prehistoria.html**
Facultad de Biblioteconomía y Documentación .... **dalila.ugr.es/~jgijon**
Agencia de Transferencia de Investigación .... **www.ugr.es/atri**
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte .... **www.ugr.es/~manumar**
Grupo de Investigación Biotecnológica y Química de Productos Naturales .... **aggranados.ugr.es**
Instituto de Biotecnología .... **aggranados.ugr.es/biotec.htm**
Instituto Andaluz de Geofísica .... **www.ugr.es/iag/iag.html**
Instituto del Agua .... **www.ugr.es/~jjcruz/instagua.htm**
CODIBUCE Conferencia de Directores
de Bibliotecas Universitarias y Científicas Españolas .... **dalila.ugr.es/~felix**
Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra .... **dalila.ugr.es/~giact**

Jaén

Universidad de Jaén .... **www.ujaen.es**
Dpto. de Electrónica .... **voltio.ujaen.es**
Aceite de oliva .... **www.ujaen.es/~fespino/aceite.html**

Córdoba

Universidad de Córdoba .... **www.uco.es**
Centro de Documentación Europea .... **www.uco.es/campus/cde**
Red Española de Aerobiología .... **www.uco.es/miscelaneo/rea**
Red de Economía y Ecología del Agua de Riego .... **www.uco.es/docinv/invest/grupos/hidronet**
Grupo de Análisis Semántico de Córdoba (GASCO) .... **www.uco.es/docinv/invest/grupos/gasco**
Dpto. de Bromatología y Tecnología de los Alimentos .... **www.uco.es/docinv/invest/grupos/hibro**
INTUS, Cátedra de Psiquiatría y Psicología Médica .... **www.uco.es/docinv/invest/grupos/intus**
SPECULUM, página Medieval, Dpto. de Filosofía .... **www.uco.es/docinv/invest/grupos/speculum**
Cátedra de Medio Ambiente .... **www.uco.es/docinv/invest/grupos/medioamb**
Grupo de Endocrinología Celular y Molecular .... **www.uco.es/docinv/invest/grupos/endocelular**
Dpto. de Especialidades Médico-Quirúrgicas .... **www.uco.es/campus/departamentos/cirugia**
Facultad de Derecho .... **www.uco.es/campus/centros/derecho**
Facultad de Medicina .... **www.uco.es/campus/centros/medicina**
Facultad de Ciencias .... **www.uco.es/campus/centros/ciencias**
Escuela Universitaria Politécnica .... **www.uco.es/campus/centros/eup**

Málaga

Universidad de Málaga .... **www.uma.es**
Dpto. de Arquitectura de Computadores .... **www.atc.ctima.uma.es**

CIENCIA INTERNET

ANDALUCÍA

Universidades

Málaga

Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática isad2.isa.uma.es
Dpto. de Tecnología Electrónica .... www.dte.uma.es
Dpto. de Lenguajes y Ciencias de la Computación .... www.lcc.uma.es
Instituto de Ciencias de la Educación .... www.ice.uma.es
Grupo de Investigación en Redes Tróficas Pelágicas Marinas .... www.uma.es/grupos/girtpm
Telemática y Administración de Empresas .... www.uma.es/grupos/telyemp
Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación .... www.uma.es/servicios/otri
Proyecto Eumednet .... www.uma.es/emn

Sevilla

Universidad de Sevilla (Centro de Proceso de Datos) .... www.cpd.us.es
Facultad de Informática y Estadística. Centro de Cálculo y Laboratorios .... www.fie.us.es
Dpto. de Ciencias de la Computación e IA .... www.cs.us.es
Dpto. de Cristalografía y Mineralogía geo10.us.es
Grupo de Teoría y Tecnología de la Comunicación .... www.cica.es/aliens/gittcus
Dpto. de Farmacología, Pediatría y Radiología .... www.cica.es/aliens/dfprus
Grupo de Reología .... www.cica.es/aliens/grus/rheohome.htm
Dpto. de Física Aplicada .... www.cica.es/aliens/dfaus
Dpto. de Física Atómica, Molecular y Nuclear .... www.cica.es/aliens/dfamnus
Dpto. de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos eurus2.us.es
Dpto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos www.lsi.us.es:8080
Dpto. de Matemática Aplicada I .... gordo.us.es
Dpto. de Prehistoria y Arqueología polifemo.us.es:8080
Escuela Superior de Ingenieros .... www.esi.us.es
ETS de Arquitectura arqui4.us.es
Escuela Universitaria de Estudios Empresariales .... www.cpd.us.es/wwwuser/bibemp/home.htm

Universidad Internacional de Andalucía .... www.uniara.uia.es

CSIC

Estación Experimental del Zaidín .... www.eez.csic.es
Estación Experimental de Zonas Áridas .... www.eeza.csic.es
Instituto de Astrofísica de Andalucía .... www.iaa.es
Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico iaa211.iaa.es

Otros OPI

Centro Informático Científico de Andalucía (CICA) .... www.cica.es
Centro Astronómico Hispanoalemán de Calar Alto .... caserv.caha.es
Plataforma Solar de Almería .... psaxp.psa.es
Institute for Prospective Technological Studies .... www.jcr.es/welcome.html
Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR) .... www.censolar.es

ARAGÓN

Universidades

Zaragoza

Universidad de Zaragoza .... www.unizar.es
Centro de Documentación Científica .... wzar.unizar.es
Centro Politécnico Superior .... www.cps.unizar.es
Grupo de Informática Gráfica Avanzada (GIGA) .... giga.cps.unizar.es
Persephone-GIGA .... persephone.cps.unizar.es
Ingeniería de Fabricación .... diana.cps.unizar.es/fabric
Filología isis.cps.unizar.es:2001
Filología Inglesa y Alemana .... diana.cps.unizar.es/defia
Dpto. de Contabilidad y Finanzas .... ciberconta.unizar.es
Área de Filosofía del Derecho .... wcc.unizar.es/DERECHO/FYD/SITESO.HTM
Dpto. de Física Teórica .... dftuz.unizar.es

Huesca

Agrupación Astronómica de Huesca .... dftuz.unizar.es/aah/aah.html
Dpto. de Química Inorgánica LRF1.unizar.es
Grupo de Sismología .... zar.unizar.es
Inteligencia Artificial lia01.unizar.es
Facultad de Filosofía y Letras .... fyl.unizar.es
Arqueología, Biblioteconomía y Documentación .... jabato.unizar.es
Facultad de Veterinaria. Unidad de Patología Infecciosa y Epidemiología 155.210.53.23
Área de Tecnología de los Alimentos. Ciencia de la Leche .... milksci.unizar.es
Servicio Multimedia y de Recursos Educativos Distribuidos .... smuz.cps.unizar.es
InfoGoya .... goya.unizar.es

Otros OPI

Instituto Tecnológico de Aragón .... www.ita.es
Instituto Aragonés de Estadística wwwiae.ita.es:8000

CIENCIA INTERNET

ASTURIAS

Universidades — Oviedo

Universidad de Oviedo	www.uniovi.es
Vicerrectorado de Estudiantes y Extensión Universitaria	www3.uniovi.es/Vicest
Web, Ftp, Gopher y Bibliotecas y el MIBI	www3.uniovi.es/Vicest/MIBI
ETSI Industriales e Informáticos de Gijón	www1.uniovi.es
Dpto. de Construcción e Ingeniería de Fabricación	www7.uniovi.es
Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias	www7.uniovi.es/iuta
ETSI de Minas de Oviedo	www.etsimo.uniovi.es o www6.uniovi.es
EUIT Minera y Topográfica de Mieres	www6.uniovi.es/mieres
Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio	www6.uniovi.es/indurot
Dpto. de Explotación y Prospección de Minas	www6.uniovi.es/dptos/epm
Revista de Minas	www6.uniovi.es/rdm
Dpto. de Geología	www4.uniovi.es
Dpto. de Química-Física	www.uniovi.es/~quimica.fisica
Parque Tecnológico de Asturias	www7.uniovi.es/ifr
Facultad de CC. de la Educación	www.uniovi.es/UniOvi/Apartados/Centro/Ciencias.Educacion
Facultad de Psicología	www.uniovi.es/UniOvi/Apartados/Centro/Psicologia
Dpto. de Psicología	www.uniovi.es/UniOvi/Apartados/Departamento/Psicologia/
TATIANA	www10.uniovi.es
HISPALINK	www.uniovi.es/~hispalink
Filosofía en Español	www.uniovi.es/~filesp
AuroraMUD	aurora.etsiig.uniovi.es:308

CSIC

Instituto Nacional del Carbón (INCAR)	www.incar.csic.es



BALEARES

Universidades — Palma de Mallorca

Universidad de las Islas Baleares	www.uib.es
Dpto. de Ciencias de la Educación	www.uib.es/depart/gte
Dpto. de Matemáticas e Informática	www.dmi.uib.es
European Master Interactive Multimedia	www.uib.es/agenda/maimm.html
Dpto. de Filología Española, Moderna y Latina	www.uib.es/depart/dfe
Dpto. de Física	www.uib.es/depart/dfs
Dpto. de Psicología	www.uib.es/depart/dpsweb/indice.html
Dpto. de Química	www.uib.es/depart/dqu
Escuela de Hotelería	www.uib.es/hoteleria
La Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación	www.uib.es/otri
Base de datos IDT	tomir.uib.es/htbin/nph-otri

CSIC

Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA)	www.imedea.uib.es o formentor.uib.es



CANARIAS

Universidades — Las Palmas de Gran Canaria

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	www.ulpgc.es
Centro de Informática y Comunicaciones del Edificio de Ingenierías (CICEI)	www.ulpgc.es/cicei
Dpto. de Informática y Sistemas	ccdis.dis.ulpgc.es
Grupo de Inteligencia Artificial y Sistemas (GIAS)	gias720.dis.ulpgc.es
Grupo de Ingeniería del Software y del Conocimiento	rigel.dis.ulpgc.es
Facultad de Informática	grumpy.dis.ulpgc.es
Grupo de Estructuras de Datos	protos.dis.ulpgc.es
Sistemas Operativos, Servicio de Información	sopa.dis.ulpgc.es
Servicio Informático de Telecomunicaciones	teleco.ulpgc.es
Centro de Microelectrónica Aplicada	cma.teleco.ulpgc.es
Grupo de Arquitecturas y Concurrencia	guigui.teleco.ulpgc.es
Servicio Informático de Arquitectura	www.cda.ulpgc.es
Grupo de Tecnología Fotónica	www.fotonica.ulpgc.es
Dpto. de Ingeniería Eléctrica	volta.ulpgc.es/die.html
Centro de Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (CEANI)	hptitan.ulpgc.es

Universidades — La Laguna (Tenerife)

Universidad de La Laguna	www.ull.es
Centro Superior de Informática	www.csi.ull.es
Análisis Matemático	www.csi.ull.es/anamat
Grupo de Computación en Paralelo	www.csi.ull.es/pcgull
Colors Wonderful World	ocre.csi.ull.es

CIENCIA  INTERNET

CANARIAS

Universidades

La Laguna (Tenerife)

Centro	Dirección
Laboratorio de Comunicaciones y Teledetección	ocre.csi.ull.es/cww/lct.html
TeraScan	ocre.csi.ull.es/cww/terascan.html
Estadística, Investigación Operativa y Computación	www.deioc.ull.es
Física Fundamental y Experimental	www.dfis.ull.es
Grupo de Física Atómica y Molecular	www.dfis.ull.es/molec.html
Grupo de Computadoras y Control	www.cyc.dfis.ull.es
Facultad de Medicina	www.csi.ull.es/medicina
Facultad de Química	www.quimica.ull.es
Institutos Universitarios de Bio-Orgánica «Antonio González»	www.quimica.ull.es/IUBO/present.html
Instituto de Productos Naturales y Agrobiología de Canarias	www.quimica.ull.es/IPNA/present.html

CSIC

Centro	Dirección
Instituto de Productos Naturales y Agrobiología de Canarias	www.quimica.ull.es/IPNA/present.html

Otros OPI

Centro	Dirección
Instituto de Astrofísica de Canarias	www.iac.es
Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación	www.iac.es/otri/otri.htm
Observatorio del Roque de los Muchachos	ing.iac.es/welcome.html
Instituto Tecnológico de Canarias	wwww.cistia.es/itc
Jardín Botánico Canario «Viera y Clavijo»	www.step.es/jardcan



CANTABRIA

Universidades

Santander

Centro	Dirección
Universidad de Cantabria	www.unican.es
Dpto. de Física Moderna	www.gae.unican.es o www.ifca.unican.es
Dpto. de Matemáticas, Estadística y Computación	matsun1.unican.es
Grupo de Álgebra Computacional y Geometría	matsun1.unican.es/CAG
Grupo de Tratamiento Avanzado de la Señal	ccaix3.unican.es/~pantalec/labgtas.html
Grupo de Ingeniería Telemática	www.git.uican.es
Dpto. de Geografía, Urbanismo y OT	ccaix3.unican.es/~siliof/dpto.htm
Dpto. Tecnología Electrónica e Ing. Sistemas y Automática	bree.teisa.unican.es
Grupo de Microelectrónica	bree.tiesa.unican.es/mel/mel.html
Facultad de Medicina	www.medi.unican.es/inicio.html
Facultad de Derecho	www.law.unican.es

CSIC

Centro	Dirección
Instituto de Física de Cantabria (IFCA)	www.ifca.unican.es
Dpto. de Estructura de la Materia, Altas Energías y Física Estadística	www.ifca.unican.es/em



CASTILLA LA MANCHA

Universidades

Sede	Centro	Dirección
Toledo	Universidad de Castilla La Mancha	www.uclm.es
	Seminario de Economía Cuantitativa	www.uclm.es/sec/sechome.html
Cuenca	Museo Internacional de Electrografía	www.uclm.es/midde/mide.html
Albacete	Dpto. de Informática de la EU Politécnica de Albacete	www.info-ab.uclm.es
Ciudad Real	Escuela Universitaria de Informática de Ciudad Real	www.inf-cr.uclm.es
	Tecnología de los Alimentos	www.uclm.es/alimentos



CASTILLA LEÓN

Universidades

Sede	Centro	Dirección
Salamanca	Universidad de Salamanca	www.usal.es
	Área de Óptica	www.usal.es/~optica
	Grupo de Física Nuclear	www.usal.es/~gfn
	Dpto. de Microbiología y Genética	www-micro.usal.es
	Dpto. de Bioquímica y Biología Molecular	www.usal.es/~dbbm
	Área de Geometría y Topología	thales.usal.es
	Master Universitario en Gerontología	www.usal.es/~gero
	Facultad de Traducción y Documentación	ftdaula0.usal.es
Valladolid	Universidad de Valladolid	www.uva.es
	Servicio de Bibliotecas	rueda.cpd.uva.es
	Dpto. de Estadística e Investigación Operativa	www.est.cie.uva.es

CIENCIA INTERNET

CASTILLA-LEÓN

Universidades

Valladolid

Dpto. de Geografía	www.uva.es/geografia/geo.htm
ETSI Industriales	www.eis.uva.es
Dpto. de Matemática Aplicada a la Ingeniería	wmatem.eis.uva.es
Dpto. de Estadística e Investigación Operativa	www.est.cie.uva.es
Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática	www.eis.uva.es/~disa
Grupo de Ingeniería de Organización	www.eis.uva.es/~leo
Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería	www.eis.uva.es/~javdel
Grupo de Electromagnetismo	rococo.ele.cie.uva.es
Dpto. de Informática	www.dcs.cie.uva.es
Dpto. de Matemática Aplicada y Computación	www.mac.cie.uva.es
Laboratorio de Teledetección	www.fa1.cie.uva.es
Grupo de Membranas	www.fa2.cie.uva.es/group
Escuela Universitaria Politécnica	webpol.dcs.eup.uva.es
Dpto. de Matemática Aplicada a la Técnica	gauss.mat.eup.uva.es
ETSI de Telecomunicación	www.tel.uva.es
EU de Estudios Empresariales	www.emp.uva.es
Monalisa-FUEVA, Fundación Universidad-Empresa	www.fueva.emp.uva.es
Facultad de Económicas y Empresariales	www.eco.uva.es
Grupo Universitario de Informática	www.gui.uva.es
Grupo Universitario de Astronomía	www.gui.uva.es/~chr
Asociación Nacional de Químicos (ANQUE)	www.gui.uva.es/~polyfemo/index.html



CATALUÑA

Universidades

Barcelona

Universidad Abierta de Cataluña	www.uoc.es
Universidad Autónoma de Barcelona	www.uab.es
Centro de Cálculo	ws.cc.uab.es
Dpto. de Pedagogía Aplicada	blues.uab.es/~ilcea
Dpto. Psicología de la Educación	blues.uab.es/~ildp2
Dpto. Ciencia Política y de Derecho Público	blues.uab.es/~icpta
Dpto. Combinatoria y Comunicación Digital	melq.uab.es
Tau, Telemática en la Universidad	tau.uab.es
Instituto de Física de Altas Energías	u1.ifae.es
Centro de Visión por Computador	upisun4.uab.es
Unidad de Diagnóstico por Imagen de Alta Tecnología	www.udiat.es
Universidad de Barcelona	www.ub.es
Dpto. de Astronomía y Meteorología	www.am.ub.es
Sociedad Española de Astronomía	sea.am.ub.es
Facultad de Biología	porthos.bio.ub.es
Dpto. de Genética	www.bio.ub.es/genet/Welcome.html
Dpto. de Estadística	www.bio.ub.es/estad/Welcome.html
Dpto. de Biología Celular Animal y Vegetal	www.bio.ub.es/biocel/Welcome.html
Dpto. de Fisiología	www.bio.ub.es/fisio/Welcome.html
Dpto. de Bioquímica y Biología Molecular	www.bq.ub.es
Dpto. de Ingeniería Química y Metalurgia	www.angel.qui.ub.es
Dpto. de Química Física	www.qf.ub.es
Dpto. de Química Inorgánica	www.ub.es/inorgani/dqi.htm
Dpto. de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica	www.ub.es/geoquimi/dep61.htm
Dpto. de Estructura y Constituyentes de la Materia	www.ecm.ub.es
Benasque Center for Physics	sophia.ecm.ub.es
Facultad de Matemáticas	www.mat.ub.es
Dpto. de Matemática Aplicada y Análisis	www.maia.ub.es
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales	www.ub.es/economiq/homeeco.htm
Unidad Ciencias Económicas	www.ub.es/mercanti/mercanti.htm
Dpto. Política Económica	www.ub.es/economiq/politica.htm
Facultad de Psicología	www.ub.es/psicolog/facultat.html
Dpto. de Didáctica y Organización Educativa	www.doe.d5.ub.es
Dpto. de Metodología de les Ciencias del Comportamiento	www.ub.es/comporta/comporta.htm
Dpto. de Historia del Arte	www.ub.es/art/dep6.htm
Dpto. de Historia Medieval, Paleografía y Diplomática	www.ub.es/medieval/dep8
Centro de Estudios de Economía Clásica (CEIPAC)	www.ub.es/CEIPAC/ceipac.html
Unidad de Paleoetología Homínida	www.ub.es/SERP/EtoHom/index.html
Unidad de Farmacia Clínica y Farmacoterapia	www.ub.es/farcli/wp0.htm
Escuela de Idiomas Modernos	www.eim.ub.es
Universidad Politécnica de Cataluña	www.upc.es
Servicios de Bibliotecas	escher.upc.es
Servicios Informáticos	www.si.upc.es

CATALUÑA

Universidades

Barcelona

Dpto. de Arquitectura de Computadores .... www.ac.upc.es
Dpto. de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial .... www-esaii.upc.es
Dpto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos .... www-lsi.upc.es
Dpto. de Teoría de Señal y Comunicaciones .... gaig.upc.es
Dpto. de Ingeniería Electrónica .... petrus.upc.es
Dpto. de Física Aplicada .... chandra.upc.es
Dpto. de Matemática Aplicada y Telemática .... www_mat.upc.es
Dpto. de Matemática Aplicada II www-ma2.upc.es
Dpto. de Proyectos de Arquitectura .... www.upc.es/pa
ETSI de Telecomunicación .... citel.upc.es/etsetb
Servicio Telemático de Telecos .... st.upc.es
ETS de Ingenieros Industriales .... www-etseib.upc.es
Escuela Universitaria Politécnica de Vilanova y la Geltrú .... sie.upc.es
Facultad de Informática de Barcelona .... www-fib.upc.es
Instituto de Cibernética .... www.ic.upc.es
Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial de Tarrasa (INTEXTER) .... rackham.upc.es
Instituto de Ciencias de la Educación .... www.upc.es/ice

Universidad Pompeu Fabra .... www.upf.es
Centro de Investigación en Economía Internacional (CREI) .... www.econ.upf.es/homecrei.html
Instituto Universitario Audiovisual .... www.iua.upf.es
Instituto Universitario de Lingüística Aplicada .... www.iula.upf.es
Instituto Universitario de Cultura .... www.upf.es/iuc/index.html
Galería Virtual .... www.iua.upf.es/~gvirtual
Dpto. de Economía y Empresa .... www.econ.upf.es
Foro «La Arquitectura del Ambiente» .... www.upf.es/arq-amb.htm

Universidad Ramon Llull .... www.url.es
Ingeniería La Salle .... www.els.url.es
Blanquerna .... www.url.es/web_blq
Facultad de Filosofía .... www.url.es/web_fil
Observatorio del Ebro .... www.url.es/web_oeb).
Instituto Químico de Sarriá 193.145.86.7
ESADE .... www.esade.es
Escuela Universitaria de Trabajo Social .... www.url.es/web_ets
Escuela Superior de Diseño .... www.url.es/web_dis

Gerona

Universidad de Gerona .... www.udg.es
SIGTE, Aplicaciones con la Información Geográfica sig1.udg.es
Biblioteca .... sbweb.udg.es
Estudios de Ciencies Económicas y Empresariales .... enterprise.udg.es
Facultad de Ciencias .... fc.udg.es
Facultad de Ciencias Experimentales y de la Salud .... fces.udg.es
Escuela Politécnica Superior .... eps.udg.es
Dpto. de Informática y Matemática Aplicada .... ima.udg.es
Dpto. de Ingeniería Industrial .... ei.udg.es
Facultad de Ciencies de la Educación .... el_coyote.udg.es
Facultad de Ciencias Jurídico-Económicas, Derecho .... aristotil.udg.es
Facultad de Ciencies Jurídico-Económicas, Empresariales .... enterprise.udg.es
Facultad de Letras .... skywalker.udg.es
Instituto de Ciencias de la Educación .... www.udg.es/udg/ice
Instituto de Química Computacional .... iqc.udg.es
Instituto de Ecología Acuática .... morgat.udg.es
Microinformática. Servicio Informático .... si.udg.es/micro

Lérida

Universidad de Lérida .... www.udl.es
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria .... www.etsea.udl.es y labor3.etsea.udl.es/etseal
Facultad de Letras .... jordipc.udl.es
Servicio de Biblioteca y Documentación .... www.bib.udl.es
Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria labor3.etsea.udl.es/irta

Tarragona

Universidad Rovira i Virgili .... www.urv.es
Instituto de Ciencias de la Educación .... gaia.fcep.urv.es
ETS de Ingeniería .... www.etse.urv.es
Facultad de Química .... www.quimica.urv.es
Historia de la Bioquímica .... www.bp.urv.es/historia.html

CIENCIA INTERNET

CATALUÑA

CSIC

Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona	www.icmab.es
Centro Nacional de Microelectrónica	www.cnm.es
Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial	www.iiia.csic.es
Barco de exploración antártica *Hespérides*	hesperides_bd.icm.csic.es
Instituto de Ciencias de la Tierra «Jaume Almera»	pangea.ija.csic.es

Otros OPI

Instituto de Estudios Catalanes	www.iec.es
Centro de Investigación Matemática	www.crm.es
Fundación Catalana para la Investigación	www.fcr.es
Descripción del «Anella Cientifica»	www.fcr.es/anella.html
Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña	www.fcr.es/ieec.html
Cinet, Proveedor de Servicios Internet	www.cinet.fcr.es
Índice Olé	www.ole.es
Unidad de Diagnóstico por Imagen de Alta Tecnología	www.udiat.es
Dpto. de Astronomía y Meteorología. InfoMet	www.infomet.fcr.es
Hospital Vall d'Hebron. Servicio de Radiología	wwwrx.ar.vhebron.es
Red Telemática Educativa de Cataluña	www.xtec.es
Centro de Computación y Comunicaciones de Cataluña	www.cesca.es
Noticiario Teraflop	balandrau.cesca.es/teraflop
Grupo de Estudios Astronómicos	www.gea.cesca.es
Sociedad Astronómica de España y América	www.sadeya.cesca.es



COMUNIDAD VALENCIANA

Admón. Pública

IMPIVA, el Instituto Valenciano de la Pequeña y Mediana Empresa	www.gva.es/impiva/infratec
Consejería de Cultura, Educación y Ciéncia	documentacion.cult.gva.es/default.htm

Universidades

Alicante

Universidad de Alicante	www.ua.es
División de Genética	gen2.genetica.ua.es/genetica.htm
Dpto. de Economía Financiera, Técnicas de Mercado y Publicidad	ecofin.ua.es
Escuela Politécnica Superior	www.eps.ua.es
Dpto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos	www.eps.ua.es/lsi
Dpto. de Tecnología Informática y Computación	www.eps.ua.es/dtic
Grupo de Informática Industrial e Inteligencia Artificial	i3a.dtic.ua.es:4080
Grupo de Sistemas Neuronales. Dpto. de Fisiología	juanvi.fisi.ua.es
Centro de Enlace del Mediterráneo Español (CENEMES)	www.cenemes.ua.es/cenemes.html

Valencia

Universidad de Valencia	www.uv.es
BioWeb, Facultad de Biología	bioweb.uv.es
Jardín Botánico de Valencia	flora.uv.es
Facultad de Medicina y Odontología	www.uv.es/medicina
Clínica Odontológica	dimoni.odonto.uv.es
Facultad de Psicología	albufera.fpsico.uv.es
Facultad de Químicas	enterprise.aulainfq.uv.es
Dpto. de Química Física	www.uv.es/~anton/quifis.html
Facultad de Farmacia	spook.uv.es
Dpto. de Farmacia y Tecnología Farmacéutica	www.uv.es/~mbermejo/galenica.html
Facultad de Matemáticas	www.uv.es/~aruiz
Dpto. de Álgebra	sylow.uv.es
Dpto. de Astronomía y Astrofísica	vlbi.uv.es
Dpto. de Geometría y Topología	topologia.geomet.uv.es
Dpto. de Estadística e Investigación Operativa	www.uv.es/~belengue/EIO
Dpto. de Matemática Aplicada	www.uv.es/~lopezra/MAPL/MatApl.html
Diseño Electrónico y Circuitos VLSI	carpanta.eleinf.uv.es
Ingeniería Informática	carpanta.eleinf.uv.es/inginf.html
Dpto. de Electrónica e Informática, LISITT	faeton.eleinf.uv.es/lisitt.html o smagris.eleinf.uv.es
Laboratorio de Electrónica Industrial e Instrumentación	www.uv.es/~leii/index.htm
Ingeniería Técnica de Telecomunicación	www.uv.es/~castellj
EconWeb. Facultad de Económicas, Biblioteca	www.uv.es/econweb
Dpto. Economía Financiera y Matemática	www.uv.es/ecofin
Dpto. de Análisis Económico	aeserver.aneco.uv.es
Dpto. de Sociología y Antropología Social	www.uv.es/~sociolog
Escuela Universitaria de Enfermería	www.uv.es/escenfg
Escuela Universitaria de Magisterio	www.uv.es/~arago
Escuela Universitaria de Relaciones Laborales	www.uv.es/~diazs
Servicio de Bioinformática	evalga.geneti.uv.es

CIENCIA INTERNET

COMUNIDAD VALENCIANA

Universidades — Valencia

Sociedad Española de Genética	seg.bioinf.uv.es
Servicio de Información (DISE)	www.uv.es/~gonzalbo
Asociación Interuniversitaria de Investigación en Pedagogía (AIDIPE)	www.uv.es/aidipe
Centro de Documentación Europea	www.uv.es/cde
Europole España	www.uv.es/cde/europole
OTRI de la Comunidad Valenciana	www.uv.es/cde/eurotri.html
Universidad Politécnica de Valencia	www.upv.es
Biblioteca	www.upv.es/bib/
Instituto de Ciencias de la Educación	www.ice.upv.es
Centro de Relación con el Entorno Socioeconómico	www.ceres.upv.es
Centro de Transferencia de Tecnología y el Centro de Proceso de datos	www.upv.es/cpd
Asociación Española para la Inteligencia Artificial	aepia.dsic.upv.es:1080
Dpto. de Comunicaciones	www.upv.es/dco
Dpto. de Sistemas Informáticos y Computación	www.dsic.upv.es
Dpto. de Ingeniería de Sistemas, Computadoras y Automática	www.disca.upv.es
Dpto. de Ingeniería Electrónica	www.upc.es/die
Dpto. de Termodinámica Aplicada	www.upv.es/termotec
Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente	agua.udmf.upv.es
ETS de Arquitectura	io.arq.upv.es
EU de Arquitectura Técnica	www.upv.es/euat
ETSI de Caminos, Canales y Puertos	sarasol.ccp.upv.es
ETSI de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica	www.top.upv.es
ETSI de Telecomunicación	www.etsi.upv.es
EU de Ingeniería Técnica de Telecomunicación	akela.itel.upv.es
EU de Ingeniería Técnica Industrial	www.eueti.upv.es
Facultad de Informática	www.fiv.upv.es
Revista *Interface*	www.fiv.upv.es/~iface/index.html
EU de Informática	www.eui.upv.es
EU de Ingeniería Técnica Agrícola	www.euita.upv.es
Instituto Tecnológico de Informática	www.iti.upv.es
UPV	www.upv.es/proyectos/programas.html y www.upv.es/API
Eurocall'95	www.upv.es/eurocall
Mapa de Recursos Internet en España	donde.uji.es
Nuevas Tecnologías de la Información Aplicadas a la Educación	nti.uji.es
Euroinfo, la Representación en España de la Comisión Europea	www.uji.es/euroinfo
Fundación Universidad-Empresa	www.fue.uji.es/index.html

CSIC

Instituto de Ciencia de Materiales de Valencia	147.156.9.201/icmuv
Grupo de Astronomía y Ciencias del Espacio	pollux.uv.es
Dpto. de Física Teórica, Astropartículas y Física de Altas Energías	flamenco.uv.es o bien neutrinos.uv.es
Unidad de Altas Energías	evalu0.ific.uv.es

Otros OPI

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias	www.ivia.es

EXTREMADURA

Universidades — Badajoz

Universidad de Extremadura	www.unex.es
Dpto. de Química-Física	www.unex.es/quifi/quifi.html
Dpto. de Electrónica e Ingeniería Electromecánica	nernet.unex.es
Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio	geot.unex.es
Facultad de Biblioteconomía y Documentación	gallardo.unex.es
Facultad de Medicina	med.unex.es
Instituto de Ciencias de la Educación	teice.unex.esz

GALICIA

Universidades — La Coruña

Universidad de La Coruña	www.udc.es
Dpto. de Computación	finisterrae.dc.fi.udc.es
Dpto. de Electrónica y Sistemas	sol.des.fi.udc.es
ETSI de Caminos, Canales y Puertos	www.udc.es/caminos
Facultad de Informática. Extensión Universitaria de Informática	ceu.fi.udc.es
Servicios Informáticos Gestión	www.six.udc.es
Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones	www.tsc.uvigo.es
Dpto. de Tecnología Electrónica	www.dte.uvigo.es
EUET en Informática de Gestión	www.ei.uvigo.es

CIENCIA INTERNET

GALICIA

Universidades

Santiago de Compostela

Institución	Dirección
Universidad de Santiago de Compostela	www.usc.es
Dpto. de Geometría y Topología	xtsunxet.usc.es
Facultad de Física	zfis.usc.es
Grupo de Electromagnetismo Aplicado	faraday.usc.es:1024
Laboratorio de Sistemas	sfdzuma.usc.es/sfdzuma.html
Grupo de Sistemas Inteligentes	elgsi.usc.es
Laboratorio de Imagen Digital	www.usc.es/~imaxe
Grupo de Paralelismo y Arquitectura Avanzadas	elhpc.usc.es
Grupo de Visión Artificial	elgva1.usc.es
Facultad de Química	www.usc.es/~faqui
Dpto. de Química Orgánica	qobrue.usc.es
Medicina Preventiva y Salud Pública	mrsplx2.usc.es
Dpto. de Historia I	www.usc.es/~troia
Instituto de Lengua Gallega	www.usc.es/~ilgas
Investigación sobre Quevedo	www.usc.es/~quevd
Dpto. de Filología Gallega	www.usc.es/~fgsec
Facultad de Psicología	www.usc.es/~psred
Dpto. de Fundamentos de Análisis Económico	www.usc.es/~fundm
Dpto. de Economía Financiera y Contabilidad	www.usc.es/~conta
Instituto de Ciencias de la Educación	www.usc.es/~iceus
Centro de Transferencia de Tecnología	www.usc.es/~cttus
Servicio de Comunicaciones	www.usc.es/~secus

Otros OPI

Institución	Dirección
Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA)	www.cesga.es
Parque Tecnológico de Galicia	www.cesga.es/pto



MADRID

Administración central

Institución	Dirección
Secretaría de Estado de Universidades e Investigación	www.seui.mec.es
Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT)	www.cicyt.es
Biblioteca Nacional	www.bne.es
Catálogo de las Bibliotecas Públicas del Estado	www.mcu.es/bpe/bpe.html
Boletín Oficial del Estado (BOE)	www.boe.es
Puntos de Información Cultural (PIC)	gatekeeper.mcu.es/pic/spain/home.html
Instituto de la Pequeña y Mediana Empresa Industrial (IMPI)	www.impi.es
Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI)	www.cdti.es
Oficina Española de Patentes y Marcas	www.eunet.es/InterStand/patentes/index.htmml
Instituto Nacional de Calidad y Evaluación	www.ince.see.mec.es
Programa de Nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación	www.pntic.see.mec.es
Instituto Cervantes	www.cervantes.es
Instituto Nacional de Estadística	www.ine.es
Fundesco	www.fundesco.es

Universidades

Madrid

Institución	Dirección
Universidad Autónoma de Madrid	www.uam.es
Facultad de Medicina	www.fmed.uam.es
Dpto. de Matemáticas	www.uam.es/estructura/departamentos/Ciencias/matem/paginas/depto.htm
Instituto de Ingeniería del Conocimiento	www.iic.uam.es
Escuela Superior de Ingeniería Informática	www.ii.uam.es
Laboratorio de Lingüística Informática	www.lllf.uam.es
Dpto. de Física Teórica	www.ft.uam.es
Laboratorio de Superficies	www.fmc.uam.es
Laboratorio de Nuevas Microscopías	www.uam.es/estructura/departamentos/Ciencias/fmc/paginas/default.htm
Laboratorio de Bajas Temperaturas	wwwlbt.fmc.uam.es
Teoría de la Materia Condensada	vega.fmc.uam.es
Equipo de Química Cuántica del Estado Sólido	sara.qfa.uam.es
Grupo de Heterobetainas	www.quimor.alcala.es
Instituto de Predicción Económica	www.uam.es/estructura/departamentos/Economicas/EconAplicada/udiei/paginas/default.html
Aulas de Informática	www.adi.uam.es
Fundación General de la UAM	www.fguam.es
Universidad Complutense de Madrid	www.ucm.es
Biblioteca	www.ucm.es/BUCM
Facultad de Psicología	www.ucm.es/OTROS/Psi
Facultad de Geología	www.ucm.es/OTROS/Geologia
Teledetección - Estación SMART	www.ucm.es/OTROS/noaa
Facultad de Filosofía	fs-morente.filol.ucm.es

MADRID

Universidades

Madrid

Facultad de CC. de la Información .... www.ucm.es/OTROS/ccinf
Revista electrónica *Espéculo* .... www.ucm.es/OTROS/especulo
CESSJ «Ramón Carande» .... www.crc.ucm.es/home.htm
Instituto Complutense de Análisis Económico www.ucm.es/icae/ICAE01.html
Centro Español de Investigación Farmacoepidemiológica (CEIFE) .... www.ceife.ucm.es
Instituto Universitario de Desarrollo y Cooperación .... www.ucm.es/OTROS/IUDC
Dpto. de Astrofísica .... www.ucm.es/OTROS/Astrof
Dpto. de Psicología Diferencial y del Trabajo .... www.ucm.es/OTROS/Psyap/dpto
Dpto. de Psicología Aplicada .... www.ucm.es/OTROS/Psyap/index.html
Dpto. de Química-Física I .... www-quifi.quim.ucm.es/qf_home
Dpto. de Geofísica y Meteorología .... www.ucm.es/OTROS/Geofis
Dpto. de Fundamentos de Análisis Económico I .... www.ucm.es/OTROS/anaeco
Dpto. de Óptica .... www.ucm.es/OTROS/optica
Dpto. de Ciencia y Tecnología de Materiales .... www.ucm.es/OTROS/metal
Dpto. de Filosofía Inglesa .... www.ucm.es/OTROS/FInglesa
Grupo de Computación Científica y Paralelismo .... eucmws.sim.ucm.es
Grupo de Altas Energías .... eucmdx.gae.ucm.es
Grupo de Biofísica .... solea.quim.ucm.es
Grupo de Programación Declarativa .... bach.mat.ucm.es/plesa
Grupo de Arquitectura de Computadores .... www-ac.dia.ucm.es
Grupo de Física Médica .... fisica.med.ucm.es
Proyecto DOSIS-2000 .... ww.ucm.es/OTROS/dosis
Grupo Quirón de Investigación Pedagógica .... www.ucm.es/OTROS/quiron
Grupo de Bioquímica de Alergenos .... solea.quim.ucm.es/~mag
Grupo de Histología .... www.ucm.es/OTROS/ghm
Colegio Universitario de Estudios Financieros .... www.skios.es/cunef

Universidad Politécnica de Madrid .... www.upm.es
Gabinete de Documentación Científica y
Centro de Documentación Europea (GEYDE) .... www.upm.es/servicios/ceyde
ETSI Industriales .... www.disam.upm.es/etsii.html
Dpto. de Ingeniería Nuclear .... www.din.upm.es
Dpto. de Automática, Electrónica e Informática Industrial .... www.disam.upm.es
ETSI de Telecomunicación .... www.etsit.upm.es
Dpto. de Electromagnetismo y Teoría de Circuitos .... www.etc.upm.es
Grupo de Ingeniería de Organización .... www.gio.ingor.upm.es
Dpto. de Ingeniería de Sistemas Telemáticos .... www.dit.upm.es
Dpto. de Ingeniería Electrónica .... www.die.upm.es
Laboratorio de Sistemas Integrados .... betis.die.upm.es
Grupo de Bioingeniería y Telemedicina .... www.teb.upm.es
Dpto. de Matemática Aplicada a las Tecnologías de la Información .... www.mat.upm.es
Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones .... www.gti.ssr.upm.es/ssr
Grupo de Tratamiento de Imagen .... www.gti.ssr.upm.es
Grupo de Radiación .... www.gr.ssr.upm.es
Grupo de Microondas y Radar .... www.gmr.ssr.upm.es
EUIT de Telecomunicación. .... www.euitt.upm.es
Dpto. de Ingeniería y Arquitecturas Telemáticas .... www.diatel.upm.es
Facultad de Informática .... www.fi.upm.es
Dpto. de Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos .... avellano.datsi.fi.upm.es
Dpto. de Inteligencia Artificial .... www.dia.fi.upm.es
Grupo de Computación Lógica y Paralelismo .... www.clip.dia.fi.upm.es
Grupo de Informática Médica .... infomed.dia.fi.upm.es
Dpto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos .... oliver.ls.fi.ump.es
Unidad Docente de Ingeniería del Software .... yamamoto.ls.fi.upm.es
Laboratorio de Metodologías y Lenguajes .... lml.ls.fi.upm.es
Dpto. de Matemática Aplicada .... www.fi.upm.es/~dma
Escuela Universitaria de Informática .... www.eui.upm.es
Dpto. de Arquitectura y Tecnología de Computadores.
Grupo de Teleinformática .... www-atc.eui.upm.es
Dpto. de Organización y Estructura de la Información bicho.eui.upm.es:70
ETSI Caminos, Canales y Puertos
Grupo de Mecánica Computacional .... filemon.caminos.upm.es
Instituto de Fusión Nuclear .... www.denim.upm.es
El Centro de Investigación para la Promoción
de Redes y Servicios Telemáticos (CIPRES) .... www.cipres.upm.es

Universidad de Alcalá de Henares .... www.alcala.es
Real Jardín Botánico Juan Carlos I .... www.jard.alcala.es
Fundación General de la Universidad de Alcalá .... www.ergos.es/fgua
Dpto. de Química Orgánica .... 193.146.8.66 (en construcción)
Instituto Euroamericano de Cultura, Ciencia y
Comunicación (INECAM) .... www.alcala.es/inecam/WELCOME.HTM

CIENCIA INTERNET

MADRID

Universidades — Madrid

Guía de Internet en castellano .... www.alcala.es/internet/intro/INTERNET.HTM

Universidad Carlos III de Madrid www.uc3m.es
Grupo de Sistemas y Comunicaciones www.gsyc.inf.uc3m.es
Grupo de Integración de Sistemas Avanzados jerez.uc3m.es
Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complicados .... valbuena.fis.ucm.es
Grupo de Vida Artificial gaia.uc3m.es
Laboratorio de UNIX a01-unix.uc3m.es
Departamento de Matemáticas dulcinea.uc3m.es

Universidad Nacional de Educación a Distancia .... www.uned.es
Dpto. de Informática y Automática .... www.dia.uned.es
Dpto. de Matemáticas Fundamentales .... www.mat.uned.es
Dpto. de Economía Aplicada e Historia Económica .... www.deahe.uned.es
Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control .... www.ieec.uned.es

Universidad Europea de Madrid CEES .... www.uem.es

Universidad Alfonso X El Sabio .... www.uax.es

Universidad Pontificia de Comillas .... www.upco.es

Universidad San Pablo CEU .... www.offcampus.es/ceu.html

CSIC

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) .... www.csic.es
Red IRIS .... www.rediris.es
Centro de Coordinación de las Bibliotecas del CSIC (CBIC) .... www.csic.es/cbic/cbic.htm
OPAC olivo.csic.es:4500/ALEPH
Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Biblioteca .... www.csic.es/cenim/biblio
Instituto del Frío. .... www.csic.es/ifrio
Instituto de Química-Física «Rocasolano» .... www.roca.csic.es
Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) .... www.cib.csic.es
Instituto de Acústica .... www.ia.csic.es
Instituto de Óptica .... www.optica.csic.es
Instituto de Ciencias de Materiales. Laboratorio de Electrónica .... electron.icmm.csic.es/electron.htm
Instituto de Estructura de la Materia
  Grupo de Física Nuclear .... breogan.iem.csic.es
  Grupo de Resonancia Magnética Nuclear .... nmr.iem.csic.es/nmr.html
Instituto de Física Aplicada
  Laboratorio de Sensores .... www.labsen.csic.es/inicio.html
  Laboratorio de Metrología .... www.metrologia.csic.es
  Instituto de Física Aplicada .... www.labsen.csic.es/ifa.html
  Dpto. de Tratamiento de la Información y Codificación .... www.iec.csic.es
  Dpto. de Radiación Electromagnética w3.iec.csic.es
Centro de Información y Documentación Científica (CINDOC) .... www.csic.es/cindoc
  Área de América Latina .... www.iepala.es/CINDOC/arealat.htm
Museo Nacional de Ciencias Naturales .... albia.museo.csic.es/MNCN.html
Centro de Biología Molecular «Severo Ochoa» .... www.cbm.uam.es
Instituto de Investigaciones Biomédicas .... ishtar.iib.uam.es
Centro Nacional de Biotecnología .... www.cnb.uam.es

Otros OPI

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) .... www.ciemat.es
Asociación EURATOM-CIEMAT para Fusión .... www-fusion.ciemat.es
División de Física de Partículas .... wwwae.ciemat.es o uae6.ciemat.es
Instituto de Energías Renovables .... www.ciemat.es/ciemat/areas/IER/ier.html
Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) .... www.cedex.es
Agencia Espacial Europea (ESA), ... www.vilspa.esa.es
Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental .... www.laeff.esa.es
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) .... www.inta.es/homepage.html
Instituto de Salud Carlos III .... www.isciii.es
Centro Nacional de Epidemiología .... www.isciii.es/cne/bienve.htm
Hospital «Ramón y Cajal» .... www.hrc.es
Instituto Geográfico Nacional, el Observatorio Astronómico Nacional .... www.oan.es

MURCIA

Universidades — Murcia

Universidad de Murcia .... www.um.es
OPAC de la Biblioteca hermes.cpd.um.es:8080
Facultad de Biología .... afrodita.fcu.um.es/~biologia
  Dpto. de Biología Animal .... afrodita.fcu.um.es/~zoologia
  Dpto. de Ecología e Hidrología .... www.um.es/~ecologia
Facultad de Informática .... www.um.es/ferrita
Facultad de Matemáticas matpc1.fcu.um.es
  Dpto. de Matemáticas matpcc1.fcu.um.es/mat
  Dpto. de Matemática Aplicada y Estadística matpc1.fcu.um.es/mae

CIENCIA INTERNET

MURCIA

Universidades

Murcia

- Facultad de Psicología .... www.um.es/~facpsi
  - Dpto. de Psicología Básica y Metodología .... www.um.es/~psibm
- Dpto. de Automática, Electricidad y Electrónica Industrial .... www.plc.um.es/~daeei
- Grupo de Ingeniería del Software .... afrodita.fcu.um.es/~giisw
- Grupo de Química Organometálica .... challenge.fcu.um.es/gi/gqo
- Grupo de Visión y Robótica .... www.plc.um.es/~vision
- Grupo Europeo CoLoS *(Conceptual Learning of Science)* colos3.fcu.um.es
- Grupo INQUICA, Ingeniería Química de Cartagena .... www.plc.um.es/~iqcar
- Instituto Universitario del Agua .... www.um.es/~inua
- Laboratorio de Óptica .... iriso.fcu.um.es
- Servicio de Apoyo a las Ciencias Experimentales (SACE) .... www.scc.um.es/sace/sac_home.html
- Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica (SAIT) .... www.plc.um.es
- Servicio de Cálculo Científico .... challlenge.fcu.um.es/scc



NAVARRA

Universidades

Pamplona

- **Universidad de Navarra** .... www.unav.es
- Facultad de Medicina web1.cti.unav.es/medicina/medicina.html
- Facultad de Teología web1.cti.unav.es/teologia/infoteologia.html
- Centro de Tecnología Informática web1.cti.unav.es/cti/indice.html
- Instituto de Estudios Superiores de Empresa (IESE) .... www.iese.es

- **Universidad Pública de Navarra** .... www.upna.es
- Área de Trabajo Social y Servicios Sociales .... www.tsocial.upna.es
- Área de Comunicaciones .... www.tsc.upna.es
- Dpto. de Matemática e Informática .... www.mat.upna.es
- Dpto. de Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales .... www.imm.upna.es
- Dpto. de Producción Agraria .... www.upna.es/dpa/internet_2.html
- Dpto. de Automática y Computación .... www.aeis.upna.es
- Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) .... www.upna.es/otri/otri.html

Oros OPI

- Asociación de Industria Navarra .... www.ain.es



PAÍS VASCO

Universidades

Lejona

- **Universidad del País Vasco** .... www.lg.ehu.es

Vitoria

- Campus de Araba .... www.vc.ehu.es

Lejona

- Campus de Vizcaya .... www.lg.ehu.es
  - ETSI Industriales y de Telecomunicación .... www.bi.ehu.es
  - Dpto. de Electrónica y Telecomunicaciones bipt86.bi.ehu.es
  - Dpto. de Electricidad y Electrónica .... www.we.lc.ehu.es
  - Dpto. de Física Teórica e Historia de la Ciencia .... tp.lc.ehu.es
  - Dpto. de Economía Aplicada III .... www.et.bs.ehu.es
  - Instituto de Economía Pública .... www.bl.ehu.es
  - Dpto. de Periodismo II .... www.pd.lp.ehu.es
  - Dpto. de Relaciones Internacionales .... www.zi.lp.ehu.es

San Sebastián

- Campus de Guipúzcoa .... www.sc.ehu.es
  - Dpto. de Arquitectura y Tecnología de Computadores simr02.si.ehu.es
  - Grupo de Ingeniería Química www.sc.ehu.es/scrwwwqp/memogru4.html
  - Dpto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos sisx04.si.ehu.es
  - Centro de Estudios e Investigaciones de Guipúzcoa (CEIT) .... www.ceit.es
  - La Escuela Superior de Ingenieros Industriales de San Sebastián .... capra.ceit.es
  - Facultad de Informática simr02.si.ehu.es
  - Dpto. de Física Aplicada I .... www.sc.ehu.es/scrwwwqp/indestarq.html
  - Dpto. de Lógica y Filosofía de la Ciencia .... www.sc.ehu.es/scrwwwyl/dol.html
  - Instituto de Lógica, Cognición, Lenguaje e Información .... www.sc.ehu.es/scrwwwil/ilcli.html
  - Grupo de la Teoría de Estado Sólido .... www.sc.ehu.es/scrwwwwa/SS-group.html
  - Instituto Internacional de Sociología Jurídica .... www.sc.ehu.es/scrwwwjo
  - Instituto Vasco de Criminología .... www.sc.ehu.es/scrwwwiv/ivac.html

Bilbao

- **Universidad de Deusto** .... www.deusto.es
- Escuela Europea de Estudios Universitarios y de Negocios .... www.jet.es/eseune

Otros OPI

- Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa (CEIT) .... www.ceit.es
- LABEIN. Centro de Investigación Tecnológica .... www.labein.es
- Instituto Europeo de Software .... www.esi.es

CIENCIA INTERNET

ARQUEOLOGÍA, PALEONTOLOGÍA

Andalucía

Departamento de Prehistoria y Arqueología	www.ugr.es/prehistoria/prehistoria.html
Departamento de Prehistoria y Arqueología	polifemo.us.es:8080

Aragón

Arqueología, Biblioteconomía y Documentación	jabato.unizar.es

ASTRONOMÍA, COSMOLOGÍA, ESPACIO

Andalucía

Instituto de Astrofísica de Andalucía	www.iaa.es

Aragón

Agrupación Astronómica de Huesca	dftuz.unizar.es/aah/aah.html

Canarias

Instituto de Astrofísica de Canarias	www.iac.es
Observatorio del Roque de los Muchachos	ing.iac.es/welcome.html

Castilla-León

Grupo Universitario de Astronomía	www.gui.uva.es/~chr

Cataluña

Departamento de Astronomía y Meteorología	www.am.ub.es
Sociedad Española de Astronomía	sea.am.ub.es
Departamento de Astronomía y Meteorología. InfoMet	www.infomet.fcr.es
Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña	www.fcr.es/ieec.html
Grupo de Estudios Astronómicos	www.gea.cesca.es
Sociedad Astronómica de España y América	www.sadeya.cesca.es
Observatorio del Ebro (Tarragona)	www.url.es/web_oeb

Comunidad Valenciana

Grupo de Astronomía y Ciencias del Espacio	pollux.uv.es
Departamento de Astronomía y Astrofísica	vlbi.uv.es

Madrid

Departamento de Astrofísica	www.ucm.es/OTROS/Astrof

BIOLOGÍA, MEDICINA, FARMACIA

Andalucía

Cátedra de Psiquiatría Médica (INTUS)	www.uco.es/docinv/invest/grupos/intus
Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos	www.uco.es/docinv/invest/grupos/hibro
Departamento de Especialidades Médico-Quirúrgicas	www.uco.es/campus/departamentos/cirugia
Facultad de Medicina	www.uco.es/campus/centros/medicina
Grupo de Endocrinología Celular y Molecular	www.uco.es/docinv/invest/grupos/endocelular
Red Española de Aerobiología	www.uco.es/miscelaneo/rea
Universidad Verde (UNIVER)	www.ujaen.es/~fespino/aceite.html
Departamento de Histología y Biología Celular	histolii.ugr.es
Facultad de Farmacia	www.ugr.es/~genfarma
Grupo de Investigación Biotecnológica y Química de Productos Naturales	aggranados.ugr.es
Instituto de Biotecnología	aggranados.ugr.es/biotec.htm
Área Hospitalaria de Valme (Junta de Andalucía)	linux.valme.sas.cica.es/inf1.htm
Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Andalucía (Junta de Andalucía)	www.cica.es/aliens/sveacsa/svea.htm
Departamento de Farmacología, Pediatría y Radiología	www.cica.es/aliens/dfprus

Aragón

Facultad de Veterinaria. Unidad de Patología Infecciosa y Epidemiología	155.210.53.23

Canarias

Instituto de Productos Naturales y Agrobiología de Canarias	www.quimica.ull.es/IPNA/present.html
Jardín Botánico Canario «Viera y Clavijo»	www.step.es/jardcan
Facultad de Medicina	www.csi.ull.es/medicina

Castilla-La Mancha

Tecnología de los Alimentos	www.uclm.es/alimentos

Castilla-León

Departamento de Bioquímica y Biología Molecular	www.usal.es/~dbbm
Departamento de Microbiología y Genética	www-micro.usal.es
Master universitario en Gerontología	www.usal.es/~gero

Cataluña

Unidad de Diagnóstico para la Imagen de Alta Tecnología	www.udiat.es
Departamento de Biología Celular Animal y Vegetal	www.io.ub.es/biocel/Welcome.html
Departamento de Bioquímica y Biología Molecular	www.bq.ub.es

CIENCIA INTERNET

BIOLOGÍA, MEDICINA, FARMACIA

Departamento de Fisiología	www.bio.ub.es/fisio/Welcome.html
Departamento de Genética	www.bio.ub.es/genet/Welcome.html
Facultad de Biología	porthos.bio.ub.es
Unidad de Farmacia Clínica y Farmacoterapia	www.ub.es/farcli/wp0.htm
Hospital Vall d'Hebron. Servicio de Radiología	wwwrx.ar.vhebron.es
Unidad de Diagnóstico por Imagen de Alta Tecnología	www.udiat.es
Facultad de Ciencias	fc.udg.es
Facultad de Ciencias Experimentales y de la Salud	fces.udg.es
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria	www.etsea.udl.es y labor3.etsea.udl.es/etseal
Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria	labor3.etsea.udl.es/irta
Comunidad Valenciana	
Departamento de Fisiología	juanvi.fisi.ua.es
División de Genética	en2.genetica.ua.es/genetica.htm
BioWeb, Facultad de Biología	bioweb.uv.es
Clínica Odontológica	dimoni.odonto.uv.es
Departamento de Farmacia y Tecnología Farmacéutica	www.uv.es/~mbermejo/galenica.html
Escuela Universitaria de Enfermería	www.uv.es/escenfg
Facultad de Medicina y Odontología	www.uv.es/medicina
Facultad de Farmacia	spook.uv.es
Servicio de Bioinformática	evalga.geneti.uv.es
Sociedad Española de Genética	seg.bioinf.uv.es
Extremadura	
Facultad de Medicina	med.unex.es
Galicia	
Medicina Preventiva y Salud Pública	mrsplx2.usc.es
Madrid	
Facultad de Medicina	www.fmed.uam.es
Centro Español de Investigación Farmacoepidemiológica (CEIFE)	www.ceife.ucm.es
Grupo de Biofísica	solea.quim.ucm.es
Grupo de Bioquímica de Alergenos	solea.quim.ucm.es/~mag
Grupo de Física Médica	fisica.med.ucm.es
Grupo de Histología	www.ucm.es/OTROS/ghm
Grupo de Bioingeniería y Telemedicina	www.teb.upm.es
Centro de Biología Molecular «Severo Ochoa»	www.cbm.uam.es
Centro de Investigaciones Biológicas (CIB)	www.cib.csic.es
Centro Nacional de Biotecnología	www.cnb.uam.es
Instituto de Investigaciones Biomédicas	ishtar.iib.uam.es
Museo Nacional de Ciencias Naturales	albia.museo.csic.es/MNCN.html
Murcia	
Departamento de Biología Animal	afrodita.fcu.um.es/~zoologia
Facultad de Biología	afrodita.fcu.um.es/~biologia
Navarra	
Facultad de Medicina	web1.cti.unav.es/medicina/medicina.html
Departamento de Producción Agraria	www.upna.es/dpa/internet_2.html

CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

Andalucía	
Facultad de Ciencias	www.uco.es/campus/centros/ciencias
Departamento de Física Aplicada. Física de Fluidos y Biocoloides	langmuir.ugr.es
Departamento de Física Teórica y del Cosmos	deneb.ugr.es
Instituto Andaluz de Geofísica	www.ugr.es/iag/iag.html
Departamento de Física Aplicada	www.cica.es/aliens/dfaus
Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear	www.cica.es/aliens/dfamnus
Departamento de Matemática Aplicada I	gordo.us.es
Grupo de Reología	www.cica.es/aliens/grus/rheohome.htm
Baleares	
Departamento de Ciencias Matemáticas e Informática	www.dmi.uib.es
Departamento de Física	www.uib.es/depart/dfs
Canarias	
Colors Wonderful World	ocre.csi.ull.es
Física Fundamental y Experimental	www.dfis.ull.es
Grupo de Computación en Paralelo	www.csi.ull.es/pcgull
Grupo de Física Atómica y Molecular	www.dfis.ull.es/molec.html
Cantabria	
Departamento de Física Moderna	www.gae.unican.es o www.ifca.unican.es
Departamento de Matemáticas, Estadística y Computación	matsun1.unican.es
Grupo de Álgebra Computacional y Geometría	matsun1.unican.es/CAG
Facultad de Medicina	www.medi.unican.es/inicio.html
Departamento de Estructura de la Materia, Altas Energías y Física Estadística	www.ifca.unican.es/em
Castilla-León	
Área de Geometría y Topología	thales.usal.es
Área de Óptica	www.usal.es/~optica
Grupo de Física Nuclear	www.usal.es/~gfn

CIENCIA INTERNET

CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

Departamento de Estadística e Investigación Operativa .... www.est.cie.uva.es
Departamento de Matemática Aplicada a la Ingeniería .... wmatem.eis.uva.es
Departamento de Matemática Aplicada a la Técnica .... gauss.mat.eup.uva.es
Departamento de Matemática Aplicada y Computación .... www.mac.cie.uva.es
Grupo de Electromagnetismo .... rococo.ele.cie.uva.es

Cataluña

Instituto de Física de Altas Energías .... ul.ifae.es
Benasque Center for Physics .... sophia.ecm.ub.es
Centro de Investigación Matemática .... www.crm.es
Departamento de Estadística .... www.bio.ub.es/estad/Welcome.html
Departamento de Estructura y Constituyentes de la Materia .... www.ecm.ub.es
Departamento de Matemática Aplicada y Análisis .... www.maia.ub.es
Facultad de Matemáticas .... www.mat.ub.es
Departamento de Matemática Aplicada y Telemática .... www_mat.upc.es
Departamento de Matemática Aplicada II www-ma2.upc.es
Departamento de Física Aplicada .... chandra.upc.es
ETSI de Telecomunicación .... citel.upc.es/etsetb
Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona .... www.icmab.es
Departamento de Informática y Matemática Aplicada .... ima.udg.es
Observatorio del Ebro .... www.url.es/web_oeb

Comunidad Valenciana

Departamento de Física Teórica, Astropartículas y Física de Altas Energías .... flamenco.uv.es o bien neutrinos.uv.es
Unidad de Altas Energías evalu0.ific.uv.es
Departamento de Álgebra .... sylow.uv.es
Departamento de Estadística e Investigación Operativa .... www.uv.es/~belengue/EIO
Departamento de Geometría y Topología .... topologia.geomet.uv.es
Departamento de Matemática Aplicada .... www.uv.es/~lopezra/MAPL/MatApl.html
Facultad de Matemáticas .... www.uv.es/~aruiz

Galicia

Departamento de Geometría y Topología .... xtsunxet.usc.es
Facultad de Física .... zfis.usc.es
Grupo de Electromagnetismo Aplicado faraday.usc.es:1024

Madrid

Departamento de Matemáticas .... www.uam.es/estructura/departamentos/Ciencias/matem/paginas/depto.htm
Laboratorio de Bajas Temperaturas .... wwwlbt.fmc.uam.es
Laboratorio de Nuevas Microscopías .... www.uam.es/estructura/departamentos/Ciencias/fmc/paginas/default.htm
Teoría de la Materia Condensada .... vega.fmc.uam.es
Departamento de Geofísica y Meteorología .... www.ucm.es/OTROS/Geofis
Departamento de Óptica .... www.ucm.es/OTROS/optica
Grupo de Altas Energías .... eucmdx.gae.ucm.es
Grupo de Biofísica .... solea.quim.ucm.es
Grupo de Física Médica .... fisica.med.ucm.es
Departamento de Ingeniería Nuclear .... www.din.upm.es
Departamento de Matemática Aplicada .... www.fi.upm.es/~dma
Departamento de Matemática Aplicada a las Tecnologías de la Información .... www.mat.upm.es
Grupo de Microondas y Radar .... www.gmr.ssr.upm.es
Grupo de Radiación .... www.gr.ssr.upm.es
Departamento de Matemáticas dulcinea.uc3m.es
Departamento de Matemáticas Fundamentales .... www.mat.uned.es
Departamento de Radiación Electromagnética w3.iec.csic.es
Grupo de Física Nuclear .... breogan.iem.csic.es
Grupo de Resonancia Magnética Nuclear .... nmr.iem.csic.es/nmr.html
Instituto de Acústica .... www.ia.csic.es
Instituto de Ciencias de Materiales. Laboratorio de Electrónica .... electron.icmm.csic.es/electron.htm
Instituto de Óptica .... www.optica.csic.es
Instituto de Química-Física «Rocasolano» .... www.roca.csic.es

Murcia

Departamento de Matemática Aplicada y Estadística matpc1.fcu.um.es/mae
Departamento de Matemáticas matpcc1.fcu.um.es/mat
Facultad de Matemáticas matpc1.fcu.um.es
Laboratorio de Óptica .... iriso.fcu.um.es

Navarra

Departamento de Matemática e Informática .... www.mat.upna.es

País Vasco

Departamento de Electricidad y Electrónica .... www.we.lc.ehu.es
Departamento de Física Teórica e Historia de la Ciencia .... tp.lc.ehu.es
Grupo de la Teoría de Estado Sólido .... www.sc.ehu.es/scrwwwwa/SS-group.html

CIENCIAS HUMANAS

Andalucía

Instituto de Ciencias de la Educación .... www.ice.uma.es

Asturias

Departamento de Psicología .... www.uniovi.es/UniOvi/Apartados/Departamento/Psicologia/
Facultad de Psicología .... www.uniovi.es/UniOvi/Apartados/Centro/Psicologia

CIENCIA Y SOCIEDAD

Andalucía
Consejería de Educación y Ciencia (Junta de Andalucía) .... www.cec.caan.es
Instituto Andaluz del Deporte (Junta de Andalucía) .... www.uida.es
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte .... www.ugr.es/~manumar
Baleares
Departamento de Psicología .... www.uib.es/depart/dpsweb/indice.html
Castilla-La Mancha
Seminario de Economía Cuantitativa .... www.uclm.es/sec/sechome.httml
Cataluña
Departamento Psicología de la Educación .... blues.uab.es/~ildp2
Comunidad Valenciana
Departamento de Sociología y Antropología Social .... www.uv.es/~sociolog
Escuela Universitaria de Relaciones Laborales .... www.uv.es/~diazs
Galicia
Medicina Preventiva e Salud Pública mrsplx2.usc.es
Madrid
Farmacoepidemiológica (CEIFE) .... www.ceife.ucm.es
Navarra
Área de Comunicaciones .... www.tsc.upna.es
Área de Trabajo Social y Servicios Sociales .... www.tsocial.upna.es

CIENCIAS SOCIALES Y PSICOLOGÍA

Cataluña
Facultad de Psicología .... www.ub.es/psicolog/facultat.html
Unidad Ciencias Económicas .... www.ub.es/mercanti/mercanti.htm

DOCUMENTACIÓN

Andalucía
Centro de Documentación Europea .... www.uco.es/campus/cde
Conferencia de Directores de Bibliotecas Universitarias y Científicas Españolas (CODIBUCE) .... dalila.ugr.es/~felix
Facultad de Biblioteconomía y Documentación .... dalila.ugr.es/~jgijon
Aragón
Arqueología, Biblioteconomía y Documentación .... jabato.unizar.es
Centro de Documentación Científica .... wzar.unizar.es
Asturias
Mapas de servidores Web, Ftp, Gopher y Bibliotecas y MIBI www3.uniovi.es/Vicest/MIBI
Baleares
Base de datos IDT .... tomir.uib.es/htbin/nph-otri
Castilla-León
Facultad de Traducción y Documentación ftdaula0.usal.es
Servicio de Bibliotecas .... rueda.cpd.uva.es
Cataluña
Servicio de Bibliotecas .... escher.upc.es
SIGTE, Aplicaciones con Información de la Biblioteca .... sbweb.udg.es
Revista electrónica *L'Alfaweb* y el Servicio de Biblioteca y Documentación .... www.bib.udl.es
Comunidad Valenciana
Mapa de Recursos Internet en España .... donde.uji.es
Centro de Documentación Europea .... www.uv.es/cde
OTRI de la Comunidad Valenciana .... www.uv.es/cde/eurotri.html
Biblioteca .... www.upv.es/bib/
Extremadura
Facultad de Biblioteconomía y Documentación .... gallardo.unex.es
Galicia
Servicio de Comunicaciones .... www.usc.es/~secus
Madrid
Boletín Oficial del Estado (BOE) .... www.boe.es
Catálogo de las Bibliotecas Públicas del Estado .... www.mcu.es/bpe/bpe.html
Catálogo de las Bibliotecas Públicas del Estado .... www.mcu.es/bpe/bpe.html
Biblioteca .... www.ucm.es/BUCM
Gabinete de Documentación Científica y Centro de Documentación Europea .... www.upm.es/servicios/ceyde
Internet en castellano .... www.alcala.es/internet/intro/INTERNET.HTM
Centro de Coordinación de las Bibliotecas del CSIC .... www.csic.es/cbic/cbic.htm
Centro de Información y Documentación Científica (CINDOC) .... www.csic.es/cindoc
OPAC olivo.csic.es:4500/ALEPH
Red IRIS .... www.rediris.es
Murcia
OPAC de la Biblioteca hermes.cpd.um.es:8080
Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica (SAIT) .... www.plc.um.es
Servicio de Apoyo a las Ciencias Experimentales (SACE) .... www.scc.um.es/sace/sac_home.html

ECONOMÍA

Cataluña

Departamento Política Económica ... www.ub.es/economiq/politica.htm
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales ... www.ub.es/economiq/homeeco.htm

ECOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE

Andalucía

Estación Experimental del Zaidín ... www.eez.csic.es
Estación Experimental de Zonas Áridas ... www.eeza.csic.es
Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR) ... www.censolar.es
Cátedra de Medio Ambiente ... www.uco.es/docinv/invest/grupos/medioamb
Red de Economía y Ecología del Agua de Riego ... ww.uco.es/docinv/invest/grupos/hidronet
Sistema de Información Ambiental de Andalucía (Junta de Andalucía) ... www.cma.caan.es
Grupo de Investigación en Redes Tróficas Pelágicas Marinas ... www.uma.es/grupos/girtpm

Asturias

Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio ... www6.uniovi.es/indurot

Cataluña

Foro «La Arquitectura del Ambiente» ... www.upf.es/arq-amb.htm
Instituto de Ecología Acuática ... morgat.udg.es
Observatorio del Ebro ... www.url.es/web_oeb

Comunidad Valenciana

Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente ... agua.udmf.upv.es

Murcia

Departamento de Ecología e Hidrología ... ww.um.es/~ecologia

GEOLOGÍA, OCEANOGRAFÍA, GEOGRAFÍA

Andalucía

Departamento de Geodinámica ... carpanta.ugr.es
Departamento de Mineralogía y Petrología ... dalila.ugr.es/~jdmartin
Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra ... dalila.ugr.es/~giact
Instituto Andaluz de Geofísica (Univ. de Granada) ... www.ugr.es/iag/iag.html
Departamento de Cristalografía y Mineralogía ... geo10.us.es

Aragón

Grupo de Sismología ... zar.unizar.es

Asturias

Departamento de Explotación y Prospección de Minas ... www6.uniovi.es/dptos/epm
Departamento de Geología ... www4.uniovi.es
Revista de Minas ... www6.uniovi.es/rdm
ETSI de Minas de Oviedo ... www.etsimo.uniovi.es o www6.uniovi.es
EUIT Minera y Topográfica de Mieres ... www6.uniovi.es/mieres
Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias ... www7.uniovi.es/iuta
Parque Tecnológico de Asturias ... www7.uniovi.es/ifr
Vicerrectorado de Estudiantes y Extensión Universitaria ... www3.uniovi.es/Vicest

Castilla-León

Departamento de Geografía ... www.uva.es/geografia/geo.htm

Cataluña

Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica ... www.ub.es/geoquimi/dep61.htm
Instituto de Ciencias de la Tierra «Jaume Almera» ... pangea.ija.csic.es
SIGTE, Aplicaciones con Información Geográfica ... sig1.udg.es

Extremadura

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio ... geot.unex.es

Madrid

Facultad de Geología ... www.ucm.es/OTROS/Geologia

HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LAS CIENCIAS, DERECHO

Andalucía

Departamento de Filosofía Medieval (SPECULUM) ... www.uco.es/docinv/invest/grupos/speculum
Facultad de Derecho ... www.uco.es/campus/centros/derecho
Grupo de Análisis Semántico de Córdoba (GASCO) ... www.uco.es/docinv/invest/grupos/gasco
Departamento de Historia Antigua ... www.ugr.es/~hantigua

Aragón

Área de Filosofía del Derecho ... wcc.unizar.es/DERECHO/FYD/SITESO.HTM

HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LAS CIENCIAS, DERECHO

Cataluña
- Departamento Ciencia Política y de Derecho Público .... blues.uab.es/~icpta
- Facultad de Ciencies Jurídico-Económicas, Derecho .... aristotil.udg.es
- Facultad de Ciencias Jurídico-Económicas, Empresariales .... enterprise.udg.es
- Historia de la Bioquímica .... www.bp.urv.es/historia.html

Galicia
- Departamento de Historia I .... www.usc.es/~troia

País Vasco
- Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia .... www.sc.ehu.es/scrwwwyl/dol.html
- Instituto Internacional de Sociología Jurídica .... www.sc.ehu.es/scrwwwjo
- Instituto Vasco de Criminología .... www.sc.ehu.es/scrwwwiv/ivac.html

INSTITUCIONES

Andalucía
- Universidad Verde (UNIVER) .... www.ujaen.es/~fespino/aceite.html
- Escuela Universitaria Politécnica .... www.uco.es/campus/centros/eup
- Escuela Superior de Ingenieros .... www.esi.us.es
- Escuela Universitaria de Estudios Empresariales .... www.cpd.us.es/wwwuser/bibemp/home.htm
- ETS de Arquitectura arqui4.us.es

Cantabria
- Instituto de Física de Cantabria (IFCA) .... www.ifca.unican.es

Cataluña
- Escuela Universitaria Politécnica de Vilanova y la Geltrú .... sie.upc.es
- Instituto de Cibernética .... www.ic.upc.es
- Instituto de Ciencias de la Educación .... www.upc.es/ice

Galicia
- ETSI de Caminos, Canales y Puertos .... www.udc.es/caminos
- Facultad de Informática. Extensión Universitaria de Informática .... ceu.fi.udc.es

Madrid
- Fundación General de la Universidad de Alcalá .... www.ergos.es/fgua
- Instituto Euroamericano de Cultura (INECAM) Ciencia y Comunicación .... www.alcala.es/inecam/WELCOME.HTM
- Real Jardín Botánico Juan Carlos I .... www.jard.alcala.es

Navarra
- Centro de Estudios e Investigaciones de Guipúzcoa (CEIT) .... www.ceit.es
- Instituto de Estudios Superiores de Empresa (IESE) .... www.iese.es
- Escuela Superior de Ingenieros Industriales de San Sebastián .... fcapra.ceit.es

País Vasco
- Industriales y de Telecomunicación (ETSI) .... www.bi.ehu.es

POLÍTICA CIENTÍFICA, TRANSFERENCIA DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

Andalucía
- Agencia de Transferencia de Investigación .... www.ugr.es/atri
- Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación .... www.uma.es/servicios/otri

Baleares
- Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación .... www.uib.es/otri

Canarias
- Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación .... www.iac.es/otri/otri.htm

Comunidad Valenciana
- Centro de Relación con el Entorno Socioeconómico .... www.ceres.upv.es
- Centro de Transferencia de Tecnología y el Centro de Proceso de datos .... www.upv.es/cpd

Galicia
- Centro de Transferencia de Tecnología .... www.usc.es/~cttus

Navarra
- Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) .... www.upna.es/otri/otri.html
- Asociación de Industria Navarra .... www.ain.es

QUÍMICA, QUÍMICA-FÍSICA

Andalucía
- Instituto Andaluz de Geofísica .... www.ugr.es/iag/iag.html
- Instituto de Biotecnología .... aggranados.ugr.es/biotec.htm
- Instituto del Agua .... www.ugr.es/~jjcruz/instagua.htm

Aragón
- Departamento de Química Inorgánica LRF1.unizar.es

Asturias
- Departamento de Química-Física .... www.uniovi.es/~quimica.fisica

QUÍMICA, QUÍMICA-FÍSICA

Baleares	
Departamento de Química	www.uib.es/depart/dqu
Canarias	
Facultad de Química	www.quimica.ull.es
Institutos Universitarios de Bio-Orgánica «Antonio González»	www.quimica.ull.es/IUBO/present.html
Instituto de Productos Naturales y Agrobiología de Canarias	www.quimica.ull.es/IPNA/present.html
Castilla-León	
Asociación Nacional de Químicos (ANQUE)	www.gui.uva.es/~polyfemo/index.html
Cataluña	
Departamento de Química Física	www.qf.ub.es
Departamento de Química Inorgánica	www.ub.es/inorgani/dqi.htm
Instituto Químico de Sarriá	193.145.86.7
Instituto de Química Computacional	iqc.udg.es
Facultad de Química	www.quimica.urv.es
Comunidad Valenciana	
Facultad de Química	enterprise.aulainfq.uv.es
Departamento de Química Física	www.uv.es/~anton/quifis.html
Extremadura	
Departamento de Química-Física	www.unex.es/quifi/quifi.html
Galicia	
Departamento de Química Orgánica	qobrue.usc.es
Facultad de Química	www.usc.es/~faqui
Madrid	
Departamento de Física Teórica	www.ft.uam.es
Equipo de Química Cuántica del Estado Sólido	sara.qfa.uam.es
Grupo de Heterobetainas	www.quimor.alcala.es
Departamento de Química-Física I	www-quifi.quim.ucm.es/qf_home
Grupo de Bioquímica de Alergenos	solea.quim.ucm.es/~mag
Departamento de Química Orgánica	193.146.8.66
Instituto de Química-Física «Rocasolano»	www.roca.csic.es
Murcia	
Grupo de Química Organometálica	challenge.fcu.um.es/gi/gqo
País Vasco	
Grupo de Ingeniería Química	www.sc.ehu.es/scrwwwqp/memogru4.html

TECNOLOGÍA, INFORMÁTICA E INDUSTRIA

Andalucía	
Centro Astronómico Hispano-Alemán de Calar Alto	caserv.caha.es
Plataforma Solar de Almería	psaxp.psa.es
Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR)	www.censolar.es
Centro Informático Científico de Andalucía (CICA)	www.cica.es
Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico	iaa211.iaa.es
Escuela Universitaria Politécnica	www.uco.es/campus/centros/eup
Departamento de Ciencias de la Computación e IA	decsai.ugr.es
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores. Grupo CASIP	magina.ugr.es
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores. Grupo Geneura	kal-el.ugr.es
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores. Procesamiento de Señales y Comunicaciones	ceres.ugr.es
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos	lsihp0.ugr.es/hp/hp.html
Grupo de Investigación Biotecnológica y Química de Productos Naturales	aggranados.ugr.es
Ingeniería Electrónica, de Sistemas Informáticos y de Automática	gaetano.uhu.es/pagina1/pdptismap.html
Servicio Central de Informática	www.cic.uhu.es
Departamento de Electrónica	voltio.ujaen.es
Universidad Verde (UNIVER)	www.ujaen.es/~fespino/aceite.html
Parque Tecnológico de Andalucía (Junta de Andalucía)	www.pta.es
Departamento de Arquitectura de Computadores	www.atc.ctima.uma.es
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática	isa-d2.isa.uma.es
Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación	www.lcc.uma.es
Departamento de Tecnología Electrónica	www.dte.uma.es
Telemática y Administración de Empresas	www.uma.es/grupos/telyemp
Departamento de Ciencias de la Computación e IA (Univ. de Sevilla)	www.cs.us.es
Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos	eurus2.us.es
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos	www.lsi.us.es:8080
Escuela Superior de Ingenieros	www.esi.us.es
ETS de Arquitectura	arqui4.us.es
Facultad de Informática y Estadística. Centro de Cálculo y Laboratorios	www.fie.us.es
Grupo de Teoría y Tecnología de la Comunicación	www.cica.es/aliens/gittcus
Institute for Prospective Technological Studies	www.jcr.es/welcome.html
Aragón	
Área de Tecnología de los Alimentos. Ciencia de la Leche	milksci.unizar.es
Centro Politécnico Superior	www.cps.unizar.es
Departamento de Física Teórica	dftuz.unizar.es
GIGA, Grupo de Informática Gráfica Avanzada	giga.cps.unizar.es
Ingeniería de Fabricación	diana.cps.unizar.es/fabric
Inteligencia Artificial	lia01.unizar.es

CIENCIA INTERNET

TECNOLOGÍA, INFORMÁTICA E INDUSTRIA

Instituto Aragonés de Estadística	wwwiae.ita.es:8000
Instituto Tecnológico de Aragón	www.ita.es
Asturias	
Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación	www7.uniovi.es
Departamento de Explotación y Prospección de Minas	www6.uniovi.es/dptos/epm
ETSI Industriales e Informáticos de Gijón	www1.uniovi.es
Baleares	
Departamento de Ciencias Matemáticas e Informática	www.dmi.uib.es
Canarias	
Centro de Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (CEANI)	hptitan.ulpgc.es
Centro de Informática y Comunicaciones del Edificio de Ingenierías (CICEI)	www.ulpgc.es/cicei
Centro de Microelectrónica Aplicada	cma.teleco.ulpgc.es
Departamento de Ingeniería Eléctrica	volta.ulpgc.es/die.html
Departamento de Informática y Sistemas	ccdis.dis.ulpgc.es
Facultad de Informática	grumpy.dis.ulpgc.es
Grupo de Arquitecturas y Concurrencia	guigui.teleco.ulpgc.es
Grupo de Computación en Paralelo	www.csi.ull.es/pcgull
Grupo de Inteligencia Artificial y Sistemas (GIAS)	gias720.dis.ulpgc.es
Grupo de Estructuras de Datos	protos.dis.ulpgc.es
Grupo de Ingeniería del Software y del Conocimiento	rigel.dis.ulpgc.es
Grupo de Tecnología Fotónica	www.fotonica.ulpgc.es
Servicio Informático de Arquitectura	www.cda.ulpgc.es
Servicio Informático de Telecomunicaciones	teleco.ulpgc.es
Sistemas Operativos, Servicio de Información	sopa.dis.ulpgc.es
Centro Superior de Informática	www.csi.ull.es
Estadística, Investigación Operativa y Computación	www.deioc.ull.es
Grupo de Computadoras y Control	www.cyc.dfis.ull.es
Laboratorio de Comunicaciones y Teledetección	ocre.csi.ull.es/cww/lct.html
TeraScan	ocre.csi.ull.es/cww/terascan.html
Instituto Tecnológico de Canarias	wwww.cistia.es/itc
Cantabria	
Departamento de Geografía, Urbanismo y OT	ccaix3.unican.es/~siliof/dpto.htm
Departamento de Matemáticas, Estadística y Computación	matsun1.unican.es
Departamento Tecnología Electrónica e Ing. Sistemas y Automática	bree.teisa.unican.es
Facultad de Derecho	www.law.unican.es
Grupo de Álgebra Computacional y Geometría	matsun1.unican.es/CAG
Grupo de Ingeniería Telemática	www.git.uican.es
Grupo de Microelectrónica	bree.tiesa.unican.es/mel/mel.html
Grupo de Tratamiento Avanzado de la Señal	ccaix3.unican.es/~pantalec/labgtas.html
Castilla-La Mancha	
Departamento de Informática de la EU Politécnica de Albacete	www.info-ab.uclm.es
Tecnología de los Alimentos	www.uclm.es/alimentos
Castilla-León	
Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería	www.eis.uva.es/~javdel
Departamento de Informática	www.dcs.cie.uva.es
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática	www.eis.uva.es/~disa
Departamento de Matemática Aplicada a la Ingeniería	wmatem.eis.uva.es
Departamento de Matemática Aplicada y Computación	www.mac.cie.uva.es
Grupo de Ingeniería de Organización	www.eis.uva.es/~leon
Laboratorio de Teledetección	www.fa1.cie.uva.es
Grupo Universitario de Informática	www.gui.uva.es
Cataluña	
Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona	www.icmab.es
Hospital Vall d'Hebron. Servicios de Radiología	wwwrx.ar.vhebron.es
Unidad de Diagnóstico por Imagen de Alta Tecnología	www.udiat.es
Ingeniería La Salle	www.els.url.es
Centro de Visión por Computador	upisun4.uab.es
Centro de Cálculo	ws.cc.uab.es
Departamento de Combinatoria y Comunicación Digital	melq.uab.es
Telemática en la Universidad	tau.uab.es
Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia	www.angel.qui.ub.es
Departamento de Arquitectura de Computadores	www.ac.upc.es
Departamento de Ingeniería Electrónica	petrus.upc.es
Departamento de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial	ww-esaii.upc.es
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos	www-lsi.upc.es
Departamento de Matemática Aplicada y Telemática	www_mat.upc.es
Departamento de Matemática Aplicada II	www-ma2.upc.es
Departamento de Proyectos de Arquitectura	www.upc.es/pa
Departamento de Teoría de Señal y Comunicaciones	gaig.upc.es
ETS de Ingenieros Industriales	www-etseib.upc.es
ETSI de Telecomunicación	citel.upc.es/etsetb
Facultad de Informática de Barcelona	www-fib.upc.es
INTEXTER, Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, Tarrasa	rackham.upc.es
Servicios Informáticos	www.si.upc.es
Servicio Telemático de Telecos	st.upc.es
Galería Virtual	www.iua.upf.es/~gvirtual
Instituto Universitario Audiovisual	www.iua.upf.es
Blanquerna	www.url.es/web_blq
Escuela Superior de Diseño	www.url.es/web_dis

TECNOLOGÍA, INFORMÁTICA E INDUSTRIA

Centro Nacional de Microelectrónica	www.cnm.es
Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial	www.iiia.csic.es
Departamento de Ingeniería Industrial	ei.udg.es
Escuela Politécnica Superior	eps.udg.es
Instituto de Química Computacional	iqc.udg.es
Microinformática. Servicio Informático	si.udg.es/micro
SIGTE, Aplicaciones con Información Geográfica	sig1.udg.es
ETS de Ingeniería	www.etse.urv.es
Comunidad Valenciana	
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos	www.eps.ua.es/lsi
Departamento de Tecnología Informática y Computación	www.eps.ua.es/dtic
Escuela Politécnica Superior	www.eps.ua.es
Grupo de Informática Industrial e Inteligencia Artificial	i3a.dtic.ua.es:4080
Nuevas Tecnologías de la Información Aplicadas a la Educación	nti.uji.es
Departamento de Estadística e Investigación Operativa	www.uv.es/~belengue/EIO
Departamento de Electrónica e Informática, LISITT	faeton.eleinf.uv.es/lisitt.html o smagris.eleinf.uv.es
Departamento de Matemática Aplicada	www.uv.es/~lopezra/MAPL/MatApl.html
Diseño Electrónico y Circuitos VLSI	carpanta.eleinf.uv.es
Ingeniería Informática	carpanta.eleinf.uv.es/inginf.html
Ingeniería Técnica de Telecomunicación	www.uv.es/~castellj
Laboratorio de Electrónica Industrial e Instrumentación	www.uv.es/~leii/index.htm
Servicio de Bioinformática	evalga.geneti.uv.es
Asociación Española para la Inteligencia Artificial	aepia.dsic.upv.es:1080
Departamento de Comunicaciones	www.upv.es/dcom
Departamento de Ingeniería Electrónica	www.upc.es/die
Departamento de Ingeniería de Sistemas, Computadoras y Automática	www.disca.upv.es
Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente	agua.udmf.upv.es
Departamento de Sistemas Informáticos y Computación	www.dsic.upv.es
Departamento de Termodinámica Aplicada	www.upv.es/termotec
ETS de Arquitectura	io.arq.upv.es
ETSI de Caminos, Canales y Puertos	sarasol.ccp.upv.es
ETSI de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica	www.top.upv.es
ETSI de Telecomunicación	www.etsi.upv.es
EU de Arquitectura Técnica	www.upv.es/euat
EU de Informática	www.eui.upv.es
EU de Ingeniería Técnica Agrícola	www.euita.upv.es
EU de Ingeniería Técnica de Telecomunicación	akela.itel.upv.es
EU de Ingeniería Técnica Industrial	www.eueti.upv.es
Facultad de Informática	www.fiv.upv.es
Revista *Interface*	www.fiv.upv.es/~iface/index.html
Instituto Tecnológico de Informática	www.iti.upv.es
UPV	www.upv.es/proyectos/programas.html y www.upv.es/API
Extremadura	
Departamento de Electrónica e Ingeniería Electromecánica	nernet.unex.es
Galicia	
Departamento de Computación	finisterrae.dc.fi.udc.es
Departamento de Electrónica y Sistemas	sol.des.fi.udc.es
Grupo de Paralelismo y Arquitectura Avanzadas	elhpc.usc.es
Grupo de Sistemas Inteligentes	elgsi.usc.es
Grupo de Visión Artificial	elgva1.usc.es
Laboratorio de Imagen Digital	www.usc.es/~imaxe
Laboratorio de Sistemas	sfdzuma.usc.es/sfdzuma.html
Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones	www.tsc.uvigo.es
Departamento de Tecnología Electrónica	www.dte.uvigo.es
EUET en Informática de Gestión	www.ei.uvigo.es
Madrid	
Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI)	www.cdti.es
Aulas de Informática	www.adi.uam.es
Instituto de Ingeniería del Conocimiento	www.iic.uam.es
Laboratorio de Lingüística Informática	www.lllf.uam.es
Laboratorio de Nuevas Microscopías	www.uam.es/estructura/departamentos/Ciencias/fmc/paginas/default.htm
Laboratorio de Superficies	www.fmc.uam.es
Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales	www.ucm.es/OTROS/metal
Facultad de CC. de la Información	www.ucm.es/OTROS/ccinf
Grupo de Arquitectura de Computadores	www-ac.dia.ucm.es
Grupo de Computación Científica y Paralelismo	eucmws.sim.ucm.es
Teledetección - Estación SMART	www.ucm.es/OTROS/noaa
Centro de Investigación para la Promoción de Redes y Servicios Telemáticos (CIPRES)	www.cipres.upm.es
Departamento de Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos	avellano.datsi.fi.upm.es
Departamento de Automática, Electrónica e Informática Industrial	www.disam.upm.es
Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Grupo de Teleinformática	www-atc.eui.upm.es
Departamento de Electromagnetismo y Teoría de Circuitos	www.etc.upm.es
Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos	www.dit.upm.es
Departamento de Ingeniería Electrónica	www.die.upm.es
Departamento de Ingeniería y Arquitecturas Telemáticas	www.diatel.upm.es
Departamento de Inteligencia Artificial	www.dia.fi.upm.es
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos	oliver.ls.fi.ump.es
Departamento de Matemática Aplicada	www.fi.upm.es/~dma
Departamento de Organización y Estructura de la Información	bicho.eui.upm.es:70
Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones	www.gti.ssr.upm.es/ssr
Escuela Universitaria de Informática	www.eui.upm.es

TECNOLOGÍA, INFORMÁTICA E INDUSTRIA

ETSI Caminos, Canales y Puertos ..... filemon.caminos.upm.es
ETSI Industriales ..... www.disam.upm.es/etsii.html
ETSI de Telecomunicación ..... www.etsit.upm.es
EUIT de Telecomunicación ..... www.euitt.upm.es
Facultad de Informática ..... www.fi.upm.es
Grupo de Bioingeniería y Telemedicina ..... www.teb.upm.es
Grupo de Computación Lógica y Paralelismo ..... www.clip.dia.fi.upm.es
Grupo de Informática Médica ..... infomed.dia.fi.upm.es
Grupo de Ingeniería de Organización ..... www.gio.ingor.upm.es
Grupo de Mecánica Computacional ..... filemon.caminos.upm.es
Grupo de Microondas y Radar ..... www.gmr.ssr.upm.es
Grupo de Radiación ..... www.gr.ssr.upm.es
Grupo de Tratamiento de Imagen ..... www.gti.ssr.upm.es
Instituto de Fusión Nuclear ..... www.denim.upm.es
Laboratorio de Metodologías y Lenguajes ..... lml.ls.fi.upm.es
Laboratorio de Sistemas Integrados ..... betis.die.upm.es
Unidad Docente de Ingeniería del Software ..... yamamoto.ls.fi.upm.es
Internet en castellano ..... www.alcala.es/internet/intro/INTERNET.HTM
Grupo de Integración de Sistemas Avanzados jerez.uc3m.es
Grupo de Sistemas y Comunicaciones www.gsyc.inf.uc3m.es
Grupo de Vida Artificial gaia.uc3m.es
Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complicados ..... valbuena.fis.ucm.es
Laboratorio de UNIX a01-unix.uc3m.es
Departamento de Informática y Automática ..... www.dia.uned.es
Departamento de Ingenieria Eléctrica, Electrónica y de Control ..... www.ieec.uned.es
Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Biblioteca ..... www.csic.es/cenim/biblio
Departamento de Radiación Electromagnética w3.iec.csic.es
Departamento de Tratamiento de la Información y Codificación ..... www.iec.csic.es
Grupo de Física Nuclear ..... breogan.iem.csic.es
Grupo de Resonancia Magnética Nuclear ..... nmr.iem.csic.es/nmr.html
Instituto del Frío ..... www.csic.es/ifrio
Instituto de Física Aplicada ..... www.labsen.csic.es/ifa.html
Laboratorio de Metrología ..... www.metrologia.csic.es
Laboratorio de Sensores ..... www.labsen.csic.es/inicio.html

Murcia

Departamento de Automática, Electricidad y Electrónica Industrial ..... www.plc.um.es/~daeei
Facultad de Informática ..... www.um.es/ferrita
Grupo de Ingeniería del Software ..... afrodita.fcu.um.es/~giisw
Grupo de Visión y Robótica ..... www.plc.um.es/~vision

Navarra

Centro de Tecnología Informática web1.cti.unav.es/cti/indice.html
Departamento de Automática y Computación ..... www.aeis.upna.es
Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales ..... www.imm.upna.es

País Vasco

Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores simr02.si.ehu.es
Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones bipt86.bi.ehu.es
Departamento de Física Aplicada I ..... www.sc.ehu.es/scrwwwqp/indestarq.html
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos sisx04.si.ehu.es
Grupo de Ingeniería Química www.sc.ehu.es/scrwwwqp/memogru4.html
Grupo de la Teoría de Estado Sólido ..... www.sc.ehu.es/scrwwwwa/SS-group.html
Facultad de Informática simr02.si.ehu.es
Instituto de Lógica, Cognición, Lenguaje e Información ..... www.sc.ehu.es/scrwwwil/ilcli.html
Universidad de Deusto ..... www.deusto.es
Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa (CEIT) ..... www.ceit.es
Centro de Investigación Tecnológica (LABEIN) ..... www.labein.es

UNIVERSIDADES

Andalucía

Universidad de Almería ..... www.ualm.es
Universidad de Cádiz ..... www.uca.es
Universidad de Córdoba ..... www.uco.es
Universidad de Granada ..... www.ugr.es
Universidad de Huelva ..... www.uhu.es
Universidad de Jaén ..... www.ujaen.es
Universidad de Málaga ..... www.uma.es
Universidad de Sevilla ..... www.cpd.us.es
Universidad Internacional de Andalucía ..... www.uniara.uia.es

Aragón

Universidad de Zaragoza ..... www.unizar.es

Asturias

Universidad de Oviedo ..... www.uniovi.es

Baleares

Universidad de las Islas Baleares ..... www.uib.es

Canarias

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria ..... www.ulpgc.es
Universidad de La Laguna, Tenerife ..... www.ull.es

Cantabria

Universidad de Cantabria ..... www.unican.es

CIENCIA INTERNET

UNIVERSIDADES

Castilla-La Mancha	
Universidad de Castilla-La Mancha	www.uclm.es
Castilla-León	
Universidad de Salamanca	www.usal.es
Universidad de Valladolid	www.uva.es
Cataluña	
Universidad Autónoma de Barcelona	www.uab.es
Universidad de Barcelona	www.ub.es
Universidad Politécnica de Cataluña	www.upc.es
Universidad Pompeu Fabra	www.upf.es
Universidad de Gerona	www.udg.es
Universidad de Lérida	www.udl.es
Universidad Rovira i Virgili	www.urv.es
Universidad Abierta de Cataluña	www.uoc.es
Universidad Ramon Llull	www.url.es
Comunidad Valenciana	
Universidad de Alicante	www.ua.es
Universidad Jaume I de Castellón	donde.uji.es
Universidad de Valencia	www.uv.es
Universidad Politécnica de Valencia	www.upv.es
Extremadura	
Universidad de Extremadura	www.unex.es
Galicia	
Universidad de La Coruña	www.udc.es
Universidad de Santiago de Compostela	www.usc.es
Universidad de Vigo	
Madrid	
Universidad Autónoma de Madrid	www.uam.es
Universidad Complutense de Madrid	www.ucm.es
Universidad Politécnica de Madrid	www.upm.es
Universidad de Alcalá de Henares	www.alcala.es
Universidad Carlos III de Madrid	www.uc3m.es
Universidad Nacional de Educación a Distancia	www.uned.es
Universidades privadas:	
Universidad Europea de Madrid (CEES)	www.uem.es
Universidad Alfonso X El Sabio	www.uax.es
Universidad Pontificia de Comillas	www.upco.es
Universidad San Pablo CEU	www.offcampus.es/ceu.html
Murcia	
Universidad de Murcia	www.um.es
Navarra	
Universidad de Navarra	www.unav.es
Universidad Pública de Navarra	www.upna.es
País Vasco	
Universidad del País Vasco	www.lg.ehu.es
Universidad de Deusto	www.deusto.es

VARIOS

Andalucía	
Proyecto Eumednet	www.uma.es/emn
Catálogo de Proveedores de Internet de Gonzalo Agulló	www.cs.us.es
Centro de Proceso de Datos	www.cpd.us.es
Aragón	
Departamento de Contabilidad y Finanzas	ciberconta.unizar.es
Facultad de Filosofía y Letras	fyl.unizar.es
Filología	isis.cps.unizar.es:2001
Filología Inglesa y Alemana	diana.cps.unizar.es/defia
InfoGoya	Goya.unizar.es
Servicio Multimedia y de Recursos Educativos Distribuidos	smuz.cps.unizar.es
Asturias	
Filosofía en Español	www.uniovi.es/~filesp
Mapas de servidores Web, Ftp, Gopher y Bibliotecas y el MIBI	www3.uniovi.es/Vicest/MIBI
Parque Tecnológico de Asturias	www7.uniovi.es/ifr
Servidor AuroraMUD	aurora.etsiig.uniovi.es:3080
Servidor HISPALINK	www.uniovi.es/~hispalink
Servidor TATIANA	www10.uniovi.es
Baleares	
Departamento de Ciencias de la Educación	www.uib.es/depart/gte
Departamento de Filología Española, Moderna y Latina	www.uib.es/depart/dfe
European Master Interactive Multimedia	www.uib.es/agenda/maimm.html
Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA)	www.imedea.uib.es o formentor.uib.es
Canarias	
Colors Wonderful World	ocre.csi.ull.es
Instituto de Productos Naturales y Agrobiología de Canarias	www.quimica.ull.es/IPNA/present.html

CIENCIA INTERNET

VARIOS

Castilla-La Mancha

Escuela Universitaria de Informática de Ciudad Real	www.inf-cr.uclm.es
Museo Internacional de Electrografía	www.uclm.es/midde/mide.html

Castilla-León

Departamento de Geografía	www.uva.es/geografia/geo.htm
Escuela Universitaria Politécnica	webpol.dcs.eup.uva.es
ETSI Industriales	www.eis.uva.es
ETSI de Telecomunicación	www.tel.uva.es
EU de Estudios Empresariales	www.emp.uva.es
Fundación Universidad-Empresa Monalisa-FUEVA	www.fueva.emp.uva.es
Facultad de Económicas y Empresariales	www.eco.uva.es
Grupo Universitario de Informática	www.gui.uva.es

Cataluña

«Anella Científica»	www.fcr.es/anella.html
Centro de Computación y Comunicaciones de Cataluña	www.cesca.es
Cinet, Proveedor de Servicios Internet	www.cinet.fcr.es
Fundación Catalana para la Investigación	www.fcr.es
Hespérides	hesperides_bd.icm.csic.es
Índice Olé	www.ole.es
Instituto de Estudios Catalanes	www.iec.es
Teraflop	balandrau.cesca.es/teraflop
Red Telemática Educativa de Cataluña	www.xtec.es

Comunidad Valenciana

Centro de Enlace del Mediterráneo Español (CENEMES)	www.cenemes.ua.es/cenemes.html
Euroinfo, la Representación en España de la Comisión Europea	www.uji.es/euroinfo
Fundación Universidad-Empresa	www.fue.uji.es/index.html
Instituto Valenciano de la Pequeña y Mediana Empresa (IMPIVA)	www.gva.es/impiva/infratec
Consejería de Cultura, Educación y Ciencia	documentacion.cult.gva.es/default.htm
Europole España	www.uv.es/cde/europole
Asociación Española para la Inteligencia Artificial	aepia.dsic.upv.es:1080
Instituto de Ciencia de Materiales de Valencia	147.156.9.201/icmuv
Instituto de Física Corpuscular del CSIC	
Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias	www.ivia.es
OTRI de la Comunidad Valenciana	www.uv.es/cde/eurotri.html
Servicio de Información (DISE)	www.uv.es/~gonzalbo

Galicia

Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA)	www.cesga.es
Parque Tecnológico de Galicia	www.cesga.es/pto
Servicios Informáticos Gestión	www.six.udc.es
Servicio de Comunicaciones	www.usc.es/~secus

Madrid

Biblioteca Nacional	www.bne.es
Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT)	www.cicyt.es
Fundesco	www.fundesco.es
Instituto Cervantes	www.cervantes.es
Instituto Nacional de Calidad y Evaluación	www.ince.see.mec.es
Instituto Nacional de Estadística	www.ine.es
Instituto de la Pequeña y Mediana Empresa Industrial (IMPI)	www.impi.es
Oficina Española de Patentes y Marcas	www.eunet.es/InterStand/patentes/index.htmml
Programa de Nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación	www.pntic.see.mec.es
Secretaría de Estado de Universidades e Investigación	www.seui.mec.es
Escuela Superior de Ingeniería Informática	www.ii.uam.es
Fundación General de la UAM	www.fguam.es
Espéculo, revista electrónica	www.ucm.es/OTROS/especulo
Colegio Universitario de Estudios Financieros	www.skios.es/cunef
Gabinete de Documentación Científica y Centro de Documentación Europea	www.upm.es/servicios/ceyde
Internet en castellano	www.alcala.es/internet/intro/INTERNET.HTM
Área de América Latina	www.iepala.es/CINDOC/arealat.htm
Colegio Universitario de Estudios Financieros	www.skios.es/cunef
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)	www.csic.es
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)	www.ciemat.es
Asociación EURATOM-CIEMAT para Fusión	www-fusion.ciemat.es
División de Física de Partículas	wwwae.ciemat.es o uae6.ciemat.es
Instituto de Energías Renovables	www.ciemat.es/ciemat/areas/IER/ier.html
Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)	www.cedex.es
Agencia Espacial Europea (ESA)	www.vilspa.esa.es
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial	www.inta.es/homepage.html
Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental	www.laeff.esa.es
Instituto de Salud Carlos III	www.isciii.es
Centro Nacional de Epidemiología	www.isciii.es/cne/bienve.htm
Hospital «Ramón y Cajal»	www.hrc.es
Instituto Geográfico Nacional, el Observatorio Astronómico Nacional	www.oan.es

Murcia

Grupo Europeo CoLoS (*Conceptual Learning of Science*)	colos3.fcu.um.es
Grupo INQUICA, Ingeniería Química de Cartagena	www.plc.um.es/~iqcar
Instituto Universitario del Agua	www.um.es/~inua
Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica (SAIT)	www.plc.um.es
Servicio de Apoyo a las Ciencias Experimentales (SACE)	www.scc.um.es/sace/sac_home.html
Servicio de Cálculo Científico	challlenge.fcu.um.es/scc

País Vasco

Escuela Europea de Estudios Universitarios y de Negocios	www.jet.es/eseune
Instituto Europeo de Software	www.esi.es

LA AUTOMATIZACIÓN DEL CÁLCULO SIMBÓLICO

Dominique Duval

Cuando el ordenador maneja ecuaciones y fórmulas matemáticas

DOMINIQUE DUVAL es profesora del laboratorio de aritmética, cálculo formal y optimización de la Universidad de Limoges. Es responsable de la formación doctoral «Criptografía, codificación, cálculo» del CNRS.

Una vez automatizado el cálculo numérico, la informática acometió la automatización de las operaciones matemáticas más abstractas. Los programas de cálculo formal, ya de fácil acceso, ahorran a los científicos horas e incluso años de trabajo. Pero hay que saber utilizarlos. Este software, que ya ha influido en varios campos de investigación, provocará también una profunda modificación de la enseñanza de las matemáticas.

DERIVADA
La derivada de una función f en el punto x es el límite, cuando h tiende a 0, del cociente $[f(x + h) - f(x)]/h$.

Para calcular, por ejemplo, el volumen de una bola de 5 cm de radio, hay que efectuar un cálculo «numérico». Basta conocer la fórmula $V = 4\pi r^3/3$, sustituir en ella el símbolo π por 3,14159... y el símbolo r por 5 para obtener un valor (aproximado) del volumen: $V = 523{,}59$ cm³. Supongamos ahora que queremos expresar el volumen de una bola en función de su área S, a priori desconocida. Sabiendo que S vale $4\pi r^2$, es suficiente expresar el radio r en función de S y sustituir esta expresión en la fórmula $V = 4\pi r^3/3$. Se encuentra fácilmente $V = S^{3/2}/6\sqrt{\pi}$. El cálculo realizado es un ejemplo de cálculo «simbólico», llamado también «formal» (y a veces «analítico» o «algebraico») (fig. 1).

Estos ejemplos muy simples ilustran los dos principales tipos de cálculo que deben realizar los científicos. En la práctica, dichos cálculos pueden efectuarse con lápiz y papel o con ordenador. Actualmente, el recurso al ordenador —o a una calculadora— para el cálculo numérico es cosa corriente. Como se trata, en general, de cálculos aproximados (ya que el número de decimales está fijado) se ha llegado a decir que los ordenadores «calculan mal».[1] En realidad, nada prohíbe a los ordenadores «calcular bien» y manejar símbolos y expresiones matemáticas. Pero la existencia de programas encargados de estas tareas es mucho más reciente y menos conocida que la de los instrumentos que automatizan cálculos numéricos.

Mundo científico ha publicado:
(1) «¿Cómo tratar los cálculos «imposibles»?», diciembre, nº 97, 1989.

Los programas —se habla también de «sistemas»— de cálculo formal hicieron su aparición hace más de treinta años: en 1958, John McCarthy, en Estados Unidos, utilizaba el lenguaje Lisp para obtener derivadas* de expresiones simbólicas. Los físicos, que han de habérselas a menudo con cálculos largos, tuvieron un papel importante en el desarrollo de los primeros sistemas. En Francia, muchos informáticos y matemáticos descubrieron el cálculo formal en los años 1980 a raíz de la creación en el CNRS de una estructura de investigación sobre el tema dirigida por Daniel Lazard. Pero sólo en los últimos años el uso de los sistemas de cálculo formal ha empezado a difundirse más allá del círculo de especialistas. Han contribuido distintos factores: culturales (algunos jóvenes han tenido la ocasión de utilizar un tal software), técnicos (progresos de los ordenadores en lo tocante a rapidez y espacio de memoria), comerciales (una publicidad más cuidada) y científicos (aumento considerable de la gama de problemas resolubles).

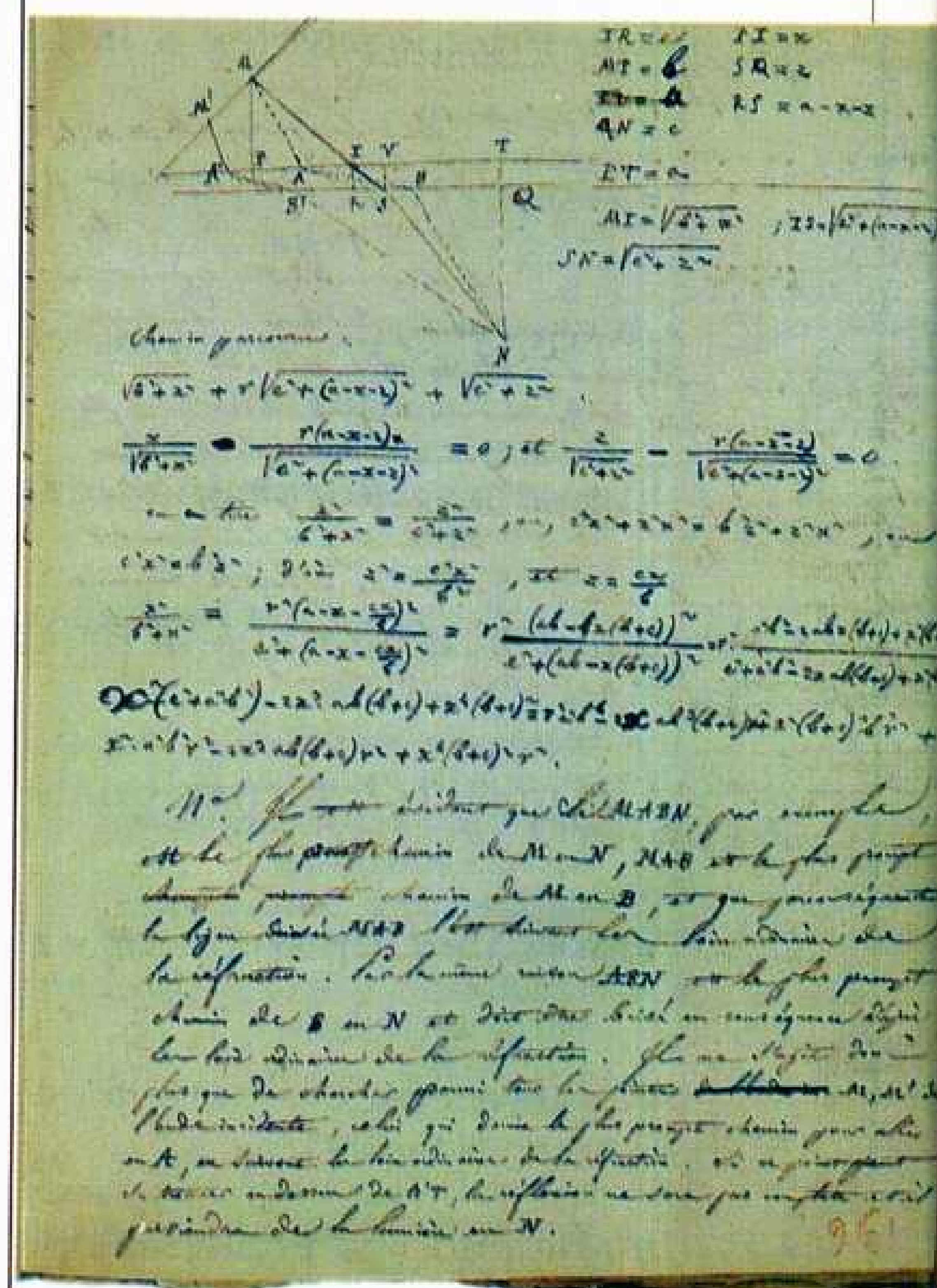
Pero estos programas, debido tal vez a la dificultad de su empleo, son muy poco utilizados todavía en las empresas. Esta situación podría modificarse rápidamente introduciendo una iniciación al cálculo formal en la mayoría de las enseñanzas científicas (véase recuadro «Enseñanza y cálculo formal») y la integración de dicho cálculo en las calculadoras (fig. 2) y los programas de cálculo científico.

El alcance del cálculo formal es considerable. En las distintas ciencias, las matemáticas distan de limitarse a determinar valores numéricos aproximados. La simplificación de las fórmulas, esto es, su escritura en forma fácilmente legible, es crucial para captar su significado. El científico suele tener que resolver, o al menos que estudiar y manejar, ecuaciones dadas en forma no numérica. Incluso en el caso de los cálculos numéricos, hay que saber plantear el problema del modo más conveniente, lo cual exige un tratamiento formal previo.

Estas manipulaciones matemáticas de todo tipo requieren en general mucho tiempo e ingenio, con un riesgo no despreciable de error. Los programas de cálculo simbólico pueden ser, en este aspecto, unos auxiliares preciosos.

Se habla a menudo del cálculo de la posición de la Luna en función del tiempo que realizara el astrónomo francés Charles Delaunay.

Delaunay publicó su resultado en 1860 y 1867 (en dos volúmenes), pero tardó unos veinte años en obtenerlo y verificarlo. La fórmula ocupa 128 páginas de su libro *La Teoría del movimiento de la Luna*. En 1970, el cálculo fue realizado por ordenador en menos de un día y,



como propina, se detectó un pequeño error en el resultado de Delaunay.

Los cálculos simbólicos largos, complicados y fastidiosos no son exclusivos de la mecánica celeste. También abundan en matemáticas, química e ingeniería, así como en casi todos los sectores de la física. Consideremos, por ejemplo, el momento magnético del electrón. Las medidas experimentales dan un valor muy preciso. Pero para determinar con idéntica precisión el valor propuesto por

la teoría, y poder comparar ambos, hay que realizar un cálculo simbólico demasiado largo y complicado, difícil de imaginar sin un programa de cálculo formal.

En un registro ligeramente distinto, los sistemas de cálculo simbólico prestan servicios en criptografía y codificación (para transacciones bancarias, comunicaciones e incluso discos compactos). Estos campos necesitan realizar cálculos en el marco de unas estructuras matemáticas bastante abstractas llamadas «cuerpos finitos». Ahora bien, contrariamente al cálculo numérico, que no sabe qué hacer con ellas, el cálculo formal las trata con bastante facilidad.

Lo mismo ocurre con el manejo automático de los programas informáticos: un programa, sea cual sea el lenguaje en el que esté escrito, es un dato simbólico que un sistema de cálculo formal puede leer, estudiar y transformar, lo cual permite ganar tiempo y evitar errores.

La especificidad del cálculo formal reside en su capacidad para manejar símbolos. He aquí dos ejemplos absolutamente elementales, a los que volveremos:

1) Resolver la ecuación $ax = b$, donde x es la incógnita. Numéricamente, sólo es posible resolver la ecuación para valores dados de a y b. Los sistemas de cálculo formal, por su parte, manejan directamente los símbolos a y b y dan la solución $x = b/a$.

2) Evaluar la expresión $(1 + x - 1)/x$. Para un programa de cálculo simbólico, esta expresión siempre es igual a 1. Un programa de cálculo numérico, en cambio, sólo puede evaluarla para un valor dado de x y responde 0 cuando el valor de x es demasiado pequeño.

A diferencia del cálculo numérico, el cálculo formal procede de manera exacta, sin aproximaciones

El cálculo numérico efectúa operaciones con números «flotantes», esto es, con aproximaciones de números reales. Así, 1/3 se escribe 0,3333333333 (el número de decimales depende de la precisión del programa); por consiguiente, 3 multiplicado por 1/3 no vale exactamente 1. En cambio, el cálculo formal maneja los números de manera exacta: 1/3 permanece en esta forma y el programa sabe las reglas de cálculo de fracciones, por lo que, para él, 3 multiplicado por 1/3 vale exactamente 1.

Asimismo, $\sqrt{2}$ se mantiene en esta forma en vez de representarse en forma decimal. El programa conoce las reglas del cálculo con radicales, por lo que el cuadrado de $\sqrt{2}$ es igual a 2, sin aproximación alguna. Análogamente, el nú-

¿Se acabaron los cálculos a mano?

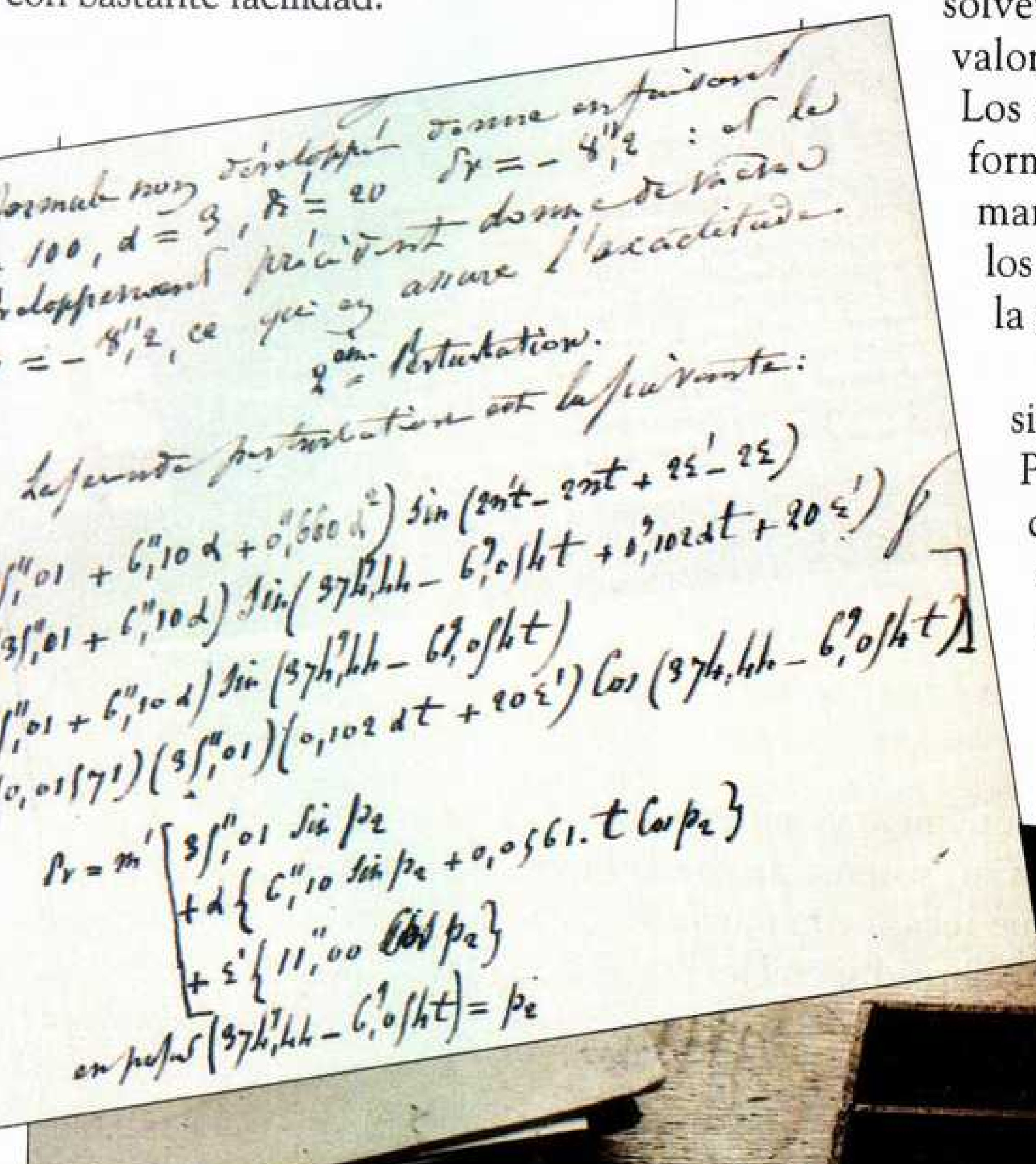


Figura 1. *Muchos cálculos mecánicos y fastidiosos pueden encargarse ya a un ordenador. Los manuscritos llenos de operaciones matemáticas, como los que aquí se reproducen, ¿están en vías de extinción? (A la izquierda: cálculos de óptica de un manuscrito de Augustin Fresnel; a la derecha, página de Einstein en las que figuran cálculos de relatividad general; arriba, cálculos de mecánica celeste de Urbain le Verrier). (Fotos biblioteca del Instituto/J.L. Charmet, archivos Magnum y arriba, Observatorio de París)*

POLINOMIO
En el caso de una sola variable x, se trata de una expresión de la forma a_0+a_1x+ $+a_2x_2+...+a_nx^n$. El entero n es el grado del polinomio y los números a_i son sus coeficientes. Una expresión del tipo $1+6x+$ $+x^3y^2$ es un polinomio de dos variables y de grado 5 (= 3 + 2).

FRACCIÓN RACIONAL
Es una fracción $P(x)/Q(x)$, en la que el numerador $P(x)$ y el denominador $Q(x)$ son polinomios en la variable x.

ENSEÑANZA Y CÁLCULO FORMAL

En Francia, el cálculo formal se había utilizado en la enseñanza a un nivel puramente experimental. En la enseñanza secundaria, se elegía a menudo el programa Drive, que funciona con ordenadores poco potentes, porque existe una versión íntegramente en francés. En el primer ciclo de la enseñanza superior, la introducción al cálculo formal era ocasional e inconexa. Se asiste ahora, con la aparición de las primeras calculadoras simbólicas, a una importante entrada en la enseñanza secundaria. En la enseñanza postsecundaria hay una introducción al uso de un programa de cálculo formal en ciertas clases preparatorias a las grandes escuelas.

Estos programas subrayan los aspectos positivos: «El objetivo consiste en acostumbrar a los estudiantes a utilizar unos programas que dan un soporte al razonamiento mediante una confrontación rápida y cómoda de las hipótesis con los resultados y permiten [...] aligerar la parte de cálculo sistemático en beneficio de la intuición matemática y del sentido físico».

En matemáticas, el aspecto experimental puede extenderse a nociones más complicadas que antes. En física y química, el cálculo formal constituye una herramienta para analizar resultados: por ejemplo, la rápida resolución de ecuaciones diferenciales y la representación de soluciones para distintos valores de los parámetros permiten comprender mejor ciertos fenómenos.

Pero la moneda tiene otra cara. Aunque se suprimen los cálculos fastidiosos en provecho de una mejor comprensión de las nociones, se corre también el riesgo de eliminar, en los exámenes, la validación de las competencias simples. Está en marcha una reflexión sobre el tema que podría conducir a una respuesta en 1997...

Observemos, por último, que, una vez más, la generalización del empleo del cálculo formal va a ser demasiado brutal de cara a la formación de los enseñantes. Ahora bien, los aspectos pedagógicos son fundamentales para un buen uso de una herramienta que, como las calculadoras numéricas o gráficas, requiere un espíritu crítico. Los programas de cálculo formal ponen en entredicho el contenido de los programas de matemáticas y de las competencias exigibles. Esto ocurría ya con las calculadoras numéricas y gráficas a un nivel más bajo (operaciones, construcciones de curvas). Pero las calculadoras formales tienen que ver con todos los conocimientos algorítmicos básicos en matemáticas. Desde hace unos años, la reflexión sobre la necesaria reforma de la enseñanza de las matemáticas la llevan a cabo enseñantes aislados o estructuras como el IREM (Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques). La brusca democratización del cálculo formal pone a los enseñantes contra las cuerdas.

Anne Bellido
Maître de conférences de la Universidad de Limoges y directora adjunta del IREM de Limoges

mero π se considera como un símbolo dotado de ciertas propiedades, como sen π = 0.

Otra diferencia del cálculo formal con respecto al numérico es que en aquél el tamaño de los números enteros no está limitado. Por ejemplo 50! vale 30414093201713378043612608166064768844377641568960512000000000000.



Un número como éste no es aceptado en un sistema de cálculo numérico porque rebasa con mucho la capacidad de memoria disponible. En tal caso, hay que contentarse con un valor aproximado del tipo $50! \approx 0{,}30414093 \times 10^{65}$. De hecho, semejante valor puede darlo también un sistema de cálculo formal; además, el usuario puede imponer la precisión deseada, es decir, el número de cifras significativas.

Gracias a su exactitud, el cálculo formal permite estudiar problemas numéricamente inestables, como la sucesión definida por: $a_0 = 11/2$, $a_1 = 61/11$ y $a_{n+1} = 111 - 1130/a_n + 3000/(a_n a_{n-1})$ para $n \geqslant 1$ (un ejemplo debido a Jean-Michel Muller, de la Escuela normal superior de Lyon(II)). Numéricamente, cuando se calculan los términos uno tras otro, la sucesión parece converger rápidamente hacia 100 cualquiera que sea la precisión: con una precisión de 8 cifras, $a_n = 100$ cuando $n \geqslant 14$, y con una precisión de 16 cifras, $a_n = 100$ cuando $n \geqslant 27$. Pero este resultado es falso, pues es posible demostrar rigurosamente que el límite de la sucesión es igual a 6. Con un programa de cálculo formal, se puede calcular para todo n el valor de a_n (se trata de un número racional, cociente de dos enteros) y luego deducir un valor aproximado. Se ve entonces que la sucesión converge hacia 6. Se tiene, por ejemplo, que $5{,}9999999 \leqslant a_{100} \leqslant 6$. En otras palabras, el cálculo numérico obtiene pronto un resultado falso ($a_{100} \approx 100$) mientras que el cálculo formal, tras un tiempo indudablemente más largo, obtiene un resultado correcto ($a_{100} \approx 6$). Las capacidades de los sistemas de cálculo formal no acaban aquí ni mucho menos. Estos programas permiten desarrollar expresiones algebraicas como ésta: $(a + b)(a - b)$, o, al contrario, factorizarlas (fig. 3). También saben manejar los polinomios* de una o más variables, las fracciones racionales*, las funciones usuales (exponencial, logarítmica, seno, etc.), las «funciones especiales» (funciones de Bessel, hipergeométricas, etc.) y las matrices (multiplicación, determinante, matriz inversa, etc.)

Saben resolver muchos tipos de ecuaciones y de sistemas de ecuaciones, calcular las derivadas de las funciones usuales y de sus combinaciones, desarrollar una función en serie de potencias de la variable (por ejemplo, $\cos x = 1 - x^2/2 +$ $+ x^4/24 - x^6/720 + ...$), hallar primitivas, etc. Las manipulaciones matemáticas así automatizadas comprenden aproximadamente todas las que aprenden los

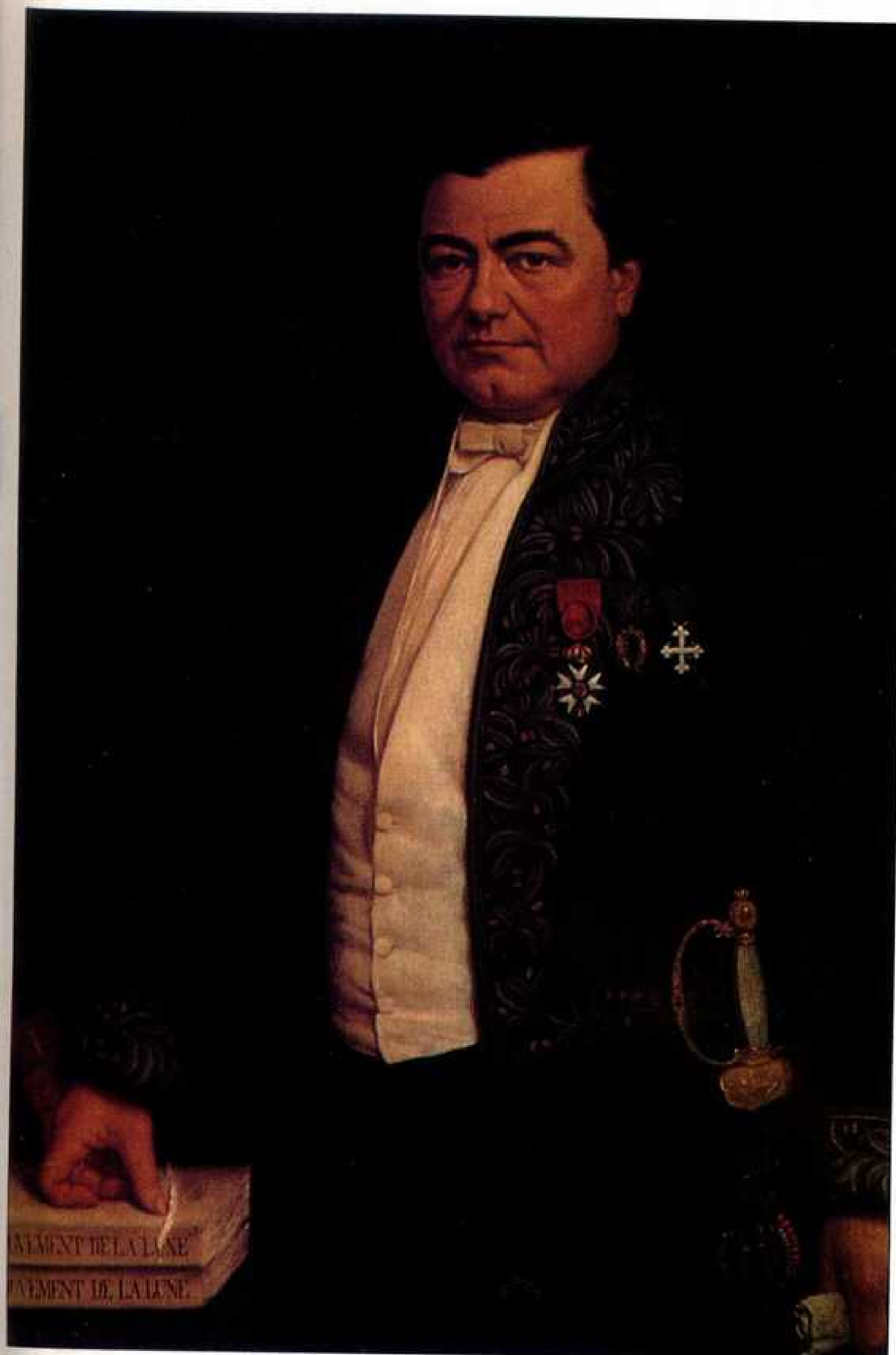
Figura 2.
Antaño, el cálculo formal estaba reservado a ordenadores relativamente pesados y potentes. Han aparecido ahora en el mercado unas calculadoras compactas que ofrecen unas posibilidades de cálculo simbólico relativamente extensas. La calculadora de esta foto es capaz de desarrollar expresiones algebraicas, factorizarlas, calcular el desarrollo en serie de potencias de la variable, determinar derivadas, primitivas, etc. Por ahora, esta calculadora está admitida en las pruebas de selectividad en Francia. La enseñanza y la práctica de las matemáticas tendrán que cambiar para integrar adecuadamente estas nuevas herramientas.
(Foto © Texas Instruments)

(II) «Ordenadores en busca de aritmética», octubre, nº 161, 1995.

estudiantes en los dos primeros años de universidad y muchas más.

La lista completa de las posibilidades ofrecidas sería muy larga. Es posible hacerse una idea de ellas consultando el manual de ayuda «en línea» de un sistema de cálculo formal. Esta lista depende poco del programa considerado, al menos para los sistemas generalistas como Macsyma, Reduce, Maple, Mathematica, Axiom, MuPad, etc. Hay también muchos sistemas que suministran algoritmos especializados para tal o cual campo; por ejemplo, Schooschip para la física de partículas elementales, Camal para la mecánica celeste y la relatividad, Magma y Gap para la teoría de grupos (véanse también los recuadros).

La mayoría de los problemas concretos requieren un tratamiento en dos o tres etapas: en primer lugar un manejo formal de expresiones, o incluso de programas, seguida de una resolución formal (a menudo parcial) que puede depender de parámetros; viene luego un cálculo numérico que completa la resolución para valores fijados de dichos parámetros; resulta necesaria, por último, una visualización gráfica de los resultados. Como estas tres fases recurren a programas que nada tienen que ver entre sí, los problemas de coherencia constituyen a veces un verdadero rompecabezas. Por ello, los sistemas de cálculo formal ofrecen además posibilidades numéricas (traducción a lenguajes como Fortran o C) y gráficas (trazado y animación de curvas o superficies). Se trata de auténticos sistemas de *cálculo científico* en sentido amplio, que integran todos sus aspectos.



El astrónomo y matemático francés Charles-Eugène Delaunay (1816-1872) tardó unos veinte años en realizar y verificar un cálculo preciso de la posición de la Luna en función del tiempo. En 1970, un ordenador logró realizar este cálculo formal en menos de un día... (Retrato de M. Sevestre, Observatorio de París)

Unos programas interactivos, baratos y de fácil empleo para resolver problemas tipo

El cuadro que acaba de esbozarse podría dar a entender que los programas de cálculo formal son omnipotentes e infalibles y que basta pulsar algunas teclas para obtener la respuesta buscada. Nada más lejos de la realidad. Es muy probable que los sistemas ideales de cálculo formal no vean nunca la luz. Los programas actuales son interactivos, baratos y de fácil empleo para problemas que, por su naturaleza y tamaño, se acercan a problemas tipo. No obstante, para sacar pleno partido de sus numerosos recursos, hay que tener una idea de su modo de funcionamiento, de sus límites y también de los límites intrínsecos de los problemas considerados.

Ante todo, hay que saber que las posibilidades que ofrece un programa de cálculo formal suelen ocultar resultados matemáticos sofisticados, un estudio muy fino de los algoritmos y de su implantación y una elección juiciosa de la representación de los datos. Además, como es fácil de comprender, uno de los *leitmotiv* es la obtención de mejores tiempos de cálculo. Consideraremos aquí dos ejemplos, el primero referente al cálculo polinomial y el segundo a la integración de funciones.

Los polinomios constituyen unos elementos básicos para el cálculo formal; se construyen a partir de números, símbolos y las operaciones de adición, sustracción y multiplicación. Los polinomios figuran implícita o explícitamente en todos los cálculos, por lo que es imprescindible saber manejarlos lo más eficazmente posible. Una operación fundamental, que interviene por ejemplo en la simplificación de una función racional, es el cálculo del máximo común divisor (*mcd*) de dos polinomios. Recordemos que el *mcd* de dos polinomios $F(t)$ y $G(t)$ es el polinomio de mayor grado $Q(t)$ que factoriza a la vez $F(t)$ y $G(t)$ (es decir, tal que $F(t) = F_1(t)Q(t)$ y $G(t) = G_1(t)Q(t)$, donde F_1 y G_1 son polinomios). Para determinar este *mcd*, existe un algoritmo simple cuyo principio ya era conocido por Euclides. Se trata de una generalización elemental del algoritmo simple que aprendimos en la escuela primaria para efectuar divisiones. A pesar de ello, la determinación del *mcd* es objeto de intensas investigaciones en cálculo formal. ¿Por qué? Consideremos los dos polinomios:

$F(t) = t^8+t^6-3t^4-3t^3+8t^2+2t-5$

y $G(t) = 3t^6+5t^4-4t^2-9t+21$.

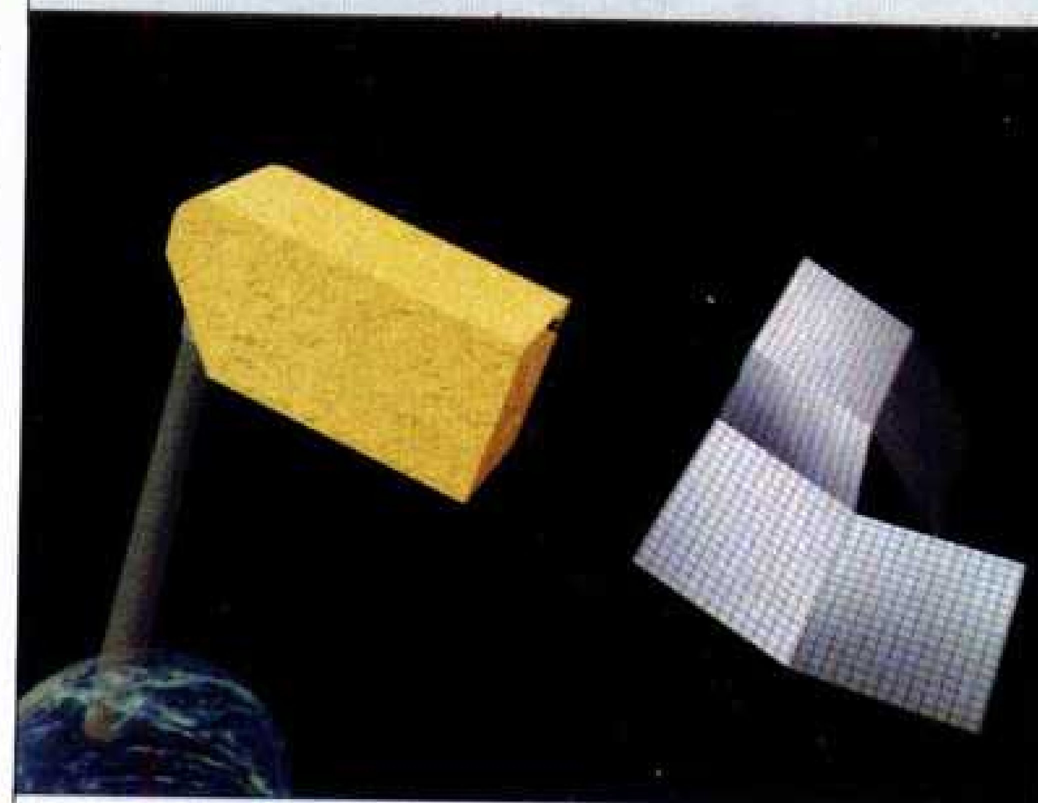
La aplicación directa del algoritmo de Euclides lleva al resultado:

$Q(t) = mcd\ (F,G) = 1288744821/543589225$.

Se comprueba que $Q(t)$ no depende de t. Ello significa que los polinomios F y G son primos entre sí (no tienen ningún factor común de grado mayor o igual a 1). El resultado tiene $10 + 9 = 19$ cifras pese a equivaler a $mcd\ (F,G) = 1$, ya que el *mcd* de dos polinomios está definido salvo un factor constante. El resultado obtenido es

SISTEMAS MECÁNICOS: EL PROGRAMA JAMES

El programa JAMES, elaborado por Aerospatiale y la sociedad Simulog, modeliza, analiza y simula sistemas mecánicos con varias articulaciones. El diseño y la construcción de los vehículos espaciales, como satélites de observación o de comunicaciones, pero también de los vehículos automóviles terrestres, requieren este tipo de simulación. JAMES ha sido utilizado, entre otras cosas, para modelizar y simular la apertura de los generadores solares de los satélites Spot 4 y Helios (véase ilustración). Las etapas típicas de la simulación de un problema con JAMES son: la definición del sistema mecánico y de su configuración, la determinación de las ecuaciones que describen el movimiento, el análisis y eventualmente la modificación de dichas ecuaciones, y la construcción del programa destinado a resolver numéricamente el problema. JAMES utiliza el sistema de cálculo formal Maple para efectuar los cálculos simbólicos y manipular las fórmulas. (Documento Simulog)



ROBÓTICA Y SISTEMAS POLINÓMICOS: EL PROGRAMA GB

Un sistema polinómico es un sistema de ecuaciones de la forma:

$P_1(x_1,x_2,...,x_n)=0$
...
...
$P_m(x_1,x_2,...,x_n)=0$

donde los $P_i(x_1,...,x_n)$ son polinomios. Los sistemas polinómicos intervienen en muchos campos, y especialmente en robótica. Por ejemplo, los simuladores de vuelo utilizan un robot formado por una plataforma unida al suelo por medio de unas «patas». Un problema consiste en determinar la posición de la plataforma conociendo la configuración del robot (en particular el número de patas y su longitud). Ello equivale a resolver un problema polinómico: las ilustraciones de esta página representan tres de las 40 posiciones posibles para un mismo robot de seis patas.

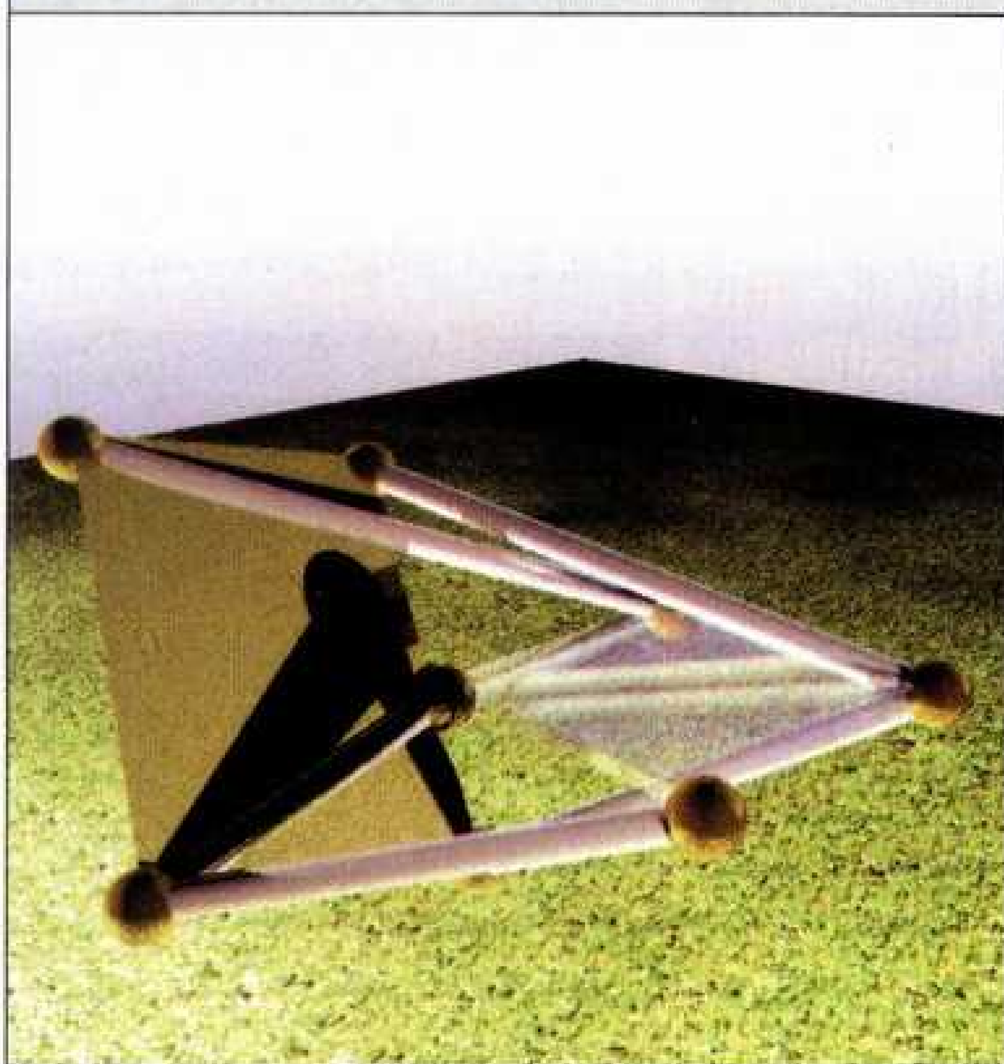
Para resolver un sistema polinómico, el austríaco Bruno Buchberger propuso en 1965 asociarle otro sistema polinómico más simple (base de Gröbner). También propuso un algoritmo simple para el cálculo de las bases de Gröbner, que es simple, pero poco eficaz.

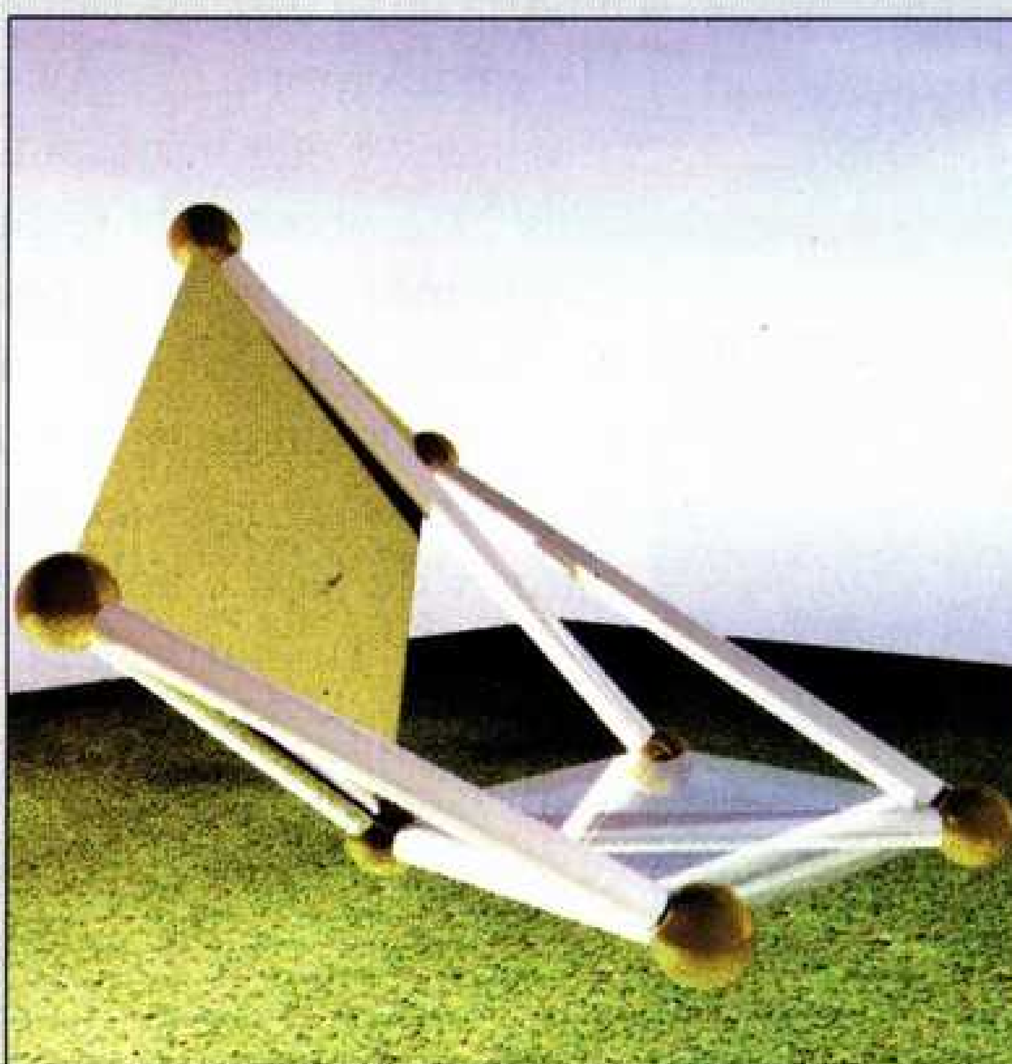
Actualmente, siguen calculándose bases de Gröbner para resolver los sistemas polinómicos. Por sus trabajos sobre estas cuestiones y sobre sus aplicaciones a la robótica, Jean-Charles Fougère, investigador de la Universidad de Paris-VI, recibió en 1995 el premio Seymour-Cray. Fougère ideó un programa, llamado GB, que utiliza unos algoritmos más sofisticados que los de Buchberger. La implantación de GB se realiza en un lenguaje de bajo nivel (el lenguaje C++) y es cuidadosamente optimizada, por lo que la ganancia de eficacia es notable. Por ejemplo, el sistema polinómico de cuatro variables:

$a+b+c+d=0$
$ab+bc+cd+da=0$
$abc+bcd+cda+dab=0$
$abcd=0$

es fácil de resolver a mano, pero hace diez años ningún programa de cálculo formal sabía tratar el sistema análogo de cinco variables.

El programa GB lo resuelve actualemente en menos de un segundo y también resuelve con éxito, en una jornada de ordenador, el sistema análogo de ocho variables (pero el resultado ocupa cientos de megaoctetos). (Documento J.-C. Fougère)







relativamente complicado, como lo son los cálculos intermedios de la aplicación del algoritmo. Por ello, si se eligieran polinomios de grado mayor, los cálculos «explotarían».

No es de extrañar, pues, que los especialistas en cálculo formal hayan desplegado muchos esfuerzos a fin de encontrar un mejor algoritmo para determinar el *mcd*. Una de las soluciones propuestas es un algoritmo muy sofisticado, en cuya prueba interviene el cálculo de matrices, creado en 1971 en Estados Unidos por W.S. Brown y G.E. Collins. Entre otras cualidades, este algoritmo da, para el caso anterior, un *mcd* de 260708, mucho más corto que el obtenido antes (6 cifras en vez de 19).

Aunque muy sutiles, estos algoritmos para calcular el *mcd* sólo utilizan las matemáticas que se enseñan en los primeros años de universidad. He aquí un problema más arduo: determinar las primitivas de las funciones algebraicas. Recordemos que la primitiva de una función $f(x)$ es una función $g(x)$ tal, que su derivada $g'(x)$ es igual a $f(x)$. Se trata, pues, de la noción inversa de la de derivada. Se escribe $g(x) = f(x)$. Conocer la primitiva de una función puede servir para calcular la integral de dicha función en un intervalo.

En el cálculo del máximo común divisor de dos polinomios se utilizan sólo matemáticas de los dos primeros años de universidad

La primitiva de un polinomio es un polinomio, pero la de una fracción racional no es en general una función racional: se necesitan logaritmos para expresarla. Generalmente, denominemos «elemental» a una función que se exprese en términos de funciones usuales (radicales, logaritmos, exponenciales y funciones trigonométricas). ¿Es elemental la primitiva de una función elemental? La respuesta es no. Consideremos la función elemental $f(x) = \exp(x^2)$; esta función admite ciertamente una primitiva, aunque no una primitiva elemental. Éste es el caso general: raras son las funciones que admiten una primitiva elemental.

Al buscar la primitiva de una función se plantea, pues, un problema: ¿se expresa dicha primitiva por medio de funciones elementales, y, en caso afirmativo, de qué modo? Por supuesto, se busca también un algoritmo eficaz para responder a esta cuestión. El problema ha sido estudiado desde el siglo XIX. La aparición de programas de cálculo formal le ha dado un nuevo aliento, pues los cálculos son demasiado complejos para ejecutarse sin ordenador.

Un caso particular importante es el de las llamadas *funciones algebraicas*, que son funciones de la forma $P(x,y)/Q(x,y)$, en donde P y Q son polinomios y, por otro lado, y depende *algebraicamente* de x, es decir, $R(x,y) = 0$ para un cierto polinomio R. Así, la expresión:

$(y^2+xy+1)/(y+3x)$, con
$y^5+x^2y+x^3=0$, constituye una fun-

ción algebraica. Un paso fundamental fue el dado por Joseph Liouville en 1833. Este matemático francés demostró que, en el caso de existir, una primitiva elemental debe tener una forma muy simple (en la que intervienen quizá logaritmos, pero no exponenciales ni funciones trigonométricas, ni siquiera logaritmos de logaritmos).

La determinación de la primitiva de una función requiere unos algoritmos específicos y sofisticados

En 1969, el norteamericano R.H. Risch dedujo de lo anterior un método que responde al problema de las primitivas de las funciones algebraicas. Este método se basa en un «cálculo» aplicado a los puntos de la curva plana de ecuación $R(x,y) = 0$. Pero no se sabía cómo automatizar este cálculo, por lo que no se trataba todavía de un algoritmo. Sólo a raíz de los trabajos del británico James Davenport en 1981 y del norteamericano Barry Trager en 1984, se consiguió implantar el método de Risch.

Se ha llegado todavía más lejos en el caso particular de las funciones hiperelípticas, unas funciones algebraicas de la forma:

$f(x)=P(x,\sqrt{r(x)})/Q(x,\sqrt{r(x)})$, donde $r(x)$ es un polinomio. Estas funciones corresponden a $R(x,y) = y^2 - r(x)$. Los científicos topan a menudo con ellas en la práctica. Un ejemplo de una tal función es:

$f(x) =$
$(21x^5+5x^4-3x^3+12x^2+2x+2)/2xy)$

donde $\sqrt{(x^3+1)}$ (aquí, se cumple, pues $r(x)=x^3+1$ y $.R(xy)=y^2-(x^3+1)$).

Esta función elemental admite una primitiva elemental, a saber:

$\int f(x) =$
$(3x^2+x-1)y+1/3\log((y-1)3(y+1)/x^6)$.

En 1994, Laurent Bertrand, de la Universidad de Limoges, elaboró un algoritmo reservado a las funciones hiperelípticas mucho más eficaz que los precedentes porque representa mejor la curva $R(x,y) = 0$. En el caso de la función anterior, por ejemplo, se obtiene el resultado diez veces más deprisa que antes (unos cinco segundos en vez de los cincuenta de Maple con una máquina IBM RS 6000).

Por otra parte, un investigador francés que trabaja en IBM, en Estados Unidos, Manuel Bronstein, consiguió en el año 1990 aplicar el método de Risch a ciertos tipos de funciones no algebraicas. A la vista de los progresos realizados, se puede apostar sin riesgo por próximas mejoras y generalizaciones de los resultados.

Los programas de cálculo formal no siempre son fáciles de utilizar. En general, hay que guiar los cálculos. La elección de la representación, del algoritmo y de los métodos de simplificación es fundamental. Desgraciadamente, la que realiza automáticamente el programa no siempre es la que mejor se adapta al problema particular planteado.

Supongamos, por ejemplo, que se desea conocer las dos últimas cifras del número 19969^{19969}. Se puede pedir al programa que calcule dicho número y luego lo divida por 100: el resto de la división está formado por las dos cifras buscadas, a saber, 29. Pero algunos conocimientos básicos de aritmética demuestran que es posible sustituir cada uno de los resultados intermedios del cálculo por el resto de su división por 100. Se manejan así números mucho más pequeños, con lo que se gana un tiempo apreciable (un factor 1000 en nuestro ejemplo).

Más generalmente, pueden encontrarse tres tipos de escollos en la utilización de un sistema de cálculo formal.



Joseph Liouville, ***gran matemático*** *francés del pasado siglo (1809-1882), demostró, entre otros, un teorema relativo a las primitivas de las funciones. Cien años después, el cálculo de primitivas sigue siendo objeto de intensas investigaciones.* (Foto J.-L. Charmet)

ALGUNOS EJEMPLOS DE LAS POSIBILIDADES DE UN SISTEMA DE CÁLCULO FORMAL, DADOS AQUÍ POR EL PROGRAMA MAPLE

• desarrollar una expresión simbólica :
((a+b)*(a-b));

$a^2 - b^2$

• desarrollar $(a+b)(a-b)$

• factorizar un polinomio:
(x^3-6*x^2+11*x-6);

(x - 1)(x - 2)(x - 3)

• factorizar el polinomio $x^3 - 6x^2 + 11x - 6$

• factorizar un número entero:
(30!);

$(2)^{26} (3)^{14} (5)^{7} (7)^{4} (11)^{2} (13)^{2} (17) (19) (23) (29)$

• descomponer 30 ! en factores primos

• calcular una integral:
(1/x^2, x=1..infinito);

1

• calcular la integral $\int_1^\infty 1/x^2\,dx$

• calcular un límite :
(sen(x)/x, x=0);

1

• calcular el límite $\lim_{x\to 0} (\mathrm{sen}\, x)/x$

• calcular un desarrollo en serie:
(sqrt(cos(x)), x=0, 8);

$1 - \frac{1}{4}x^2 - \frac{1}{96}x^4 - \frac{19}{5760}x^6 + o(x^8)$

• calcular el desarrollo en serie de $\sqrt{\cos x}$ en un entorno de $x = 0$ y hasta el octavo orden

preguntas — respuestas

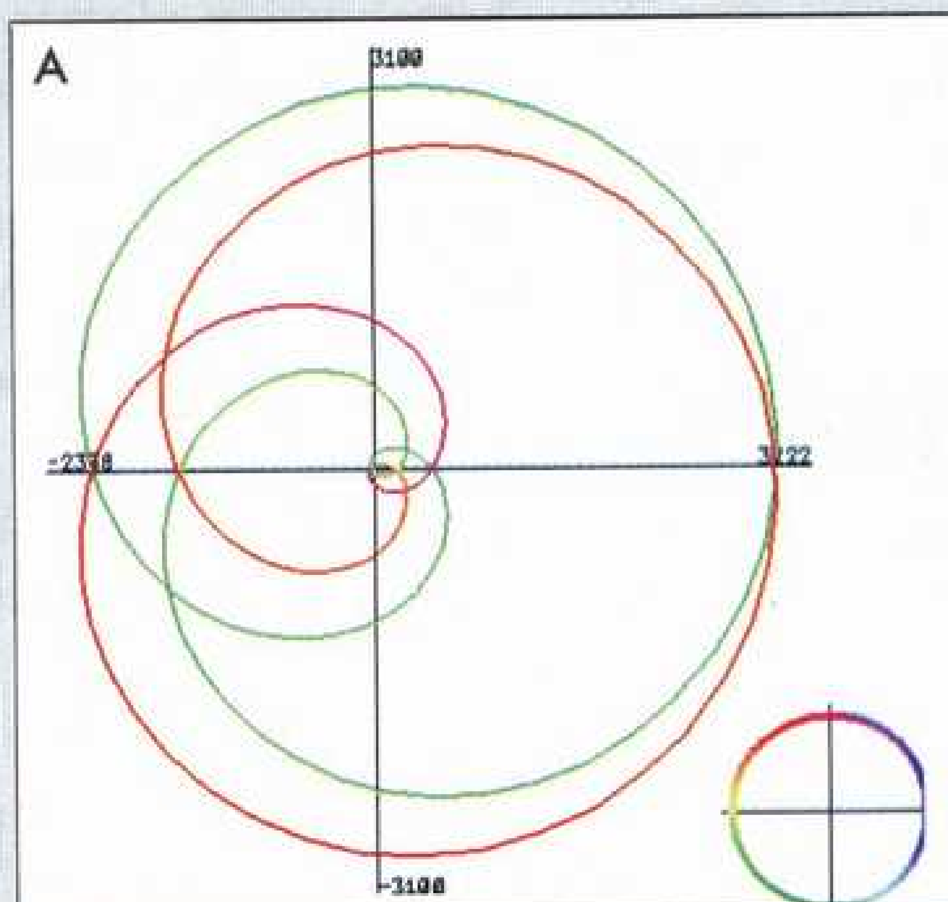
Figura 3. *La figura muestra los datos presentados por el ordenador durante una sesión de demostración con el programa Maple (en rojo, las preguntas formuladas por el usuario; de azul, las respuestas calculadas por el programa; los comentarios están en negro).*

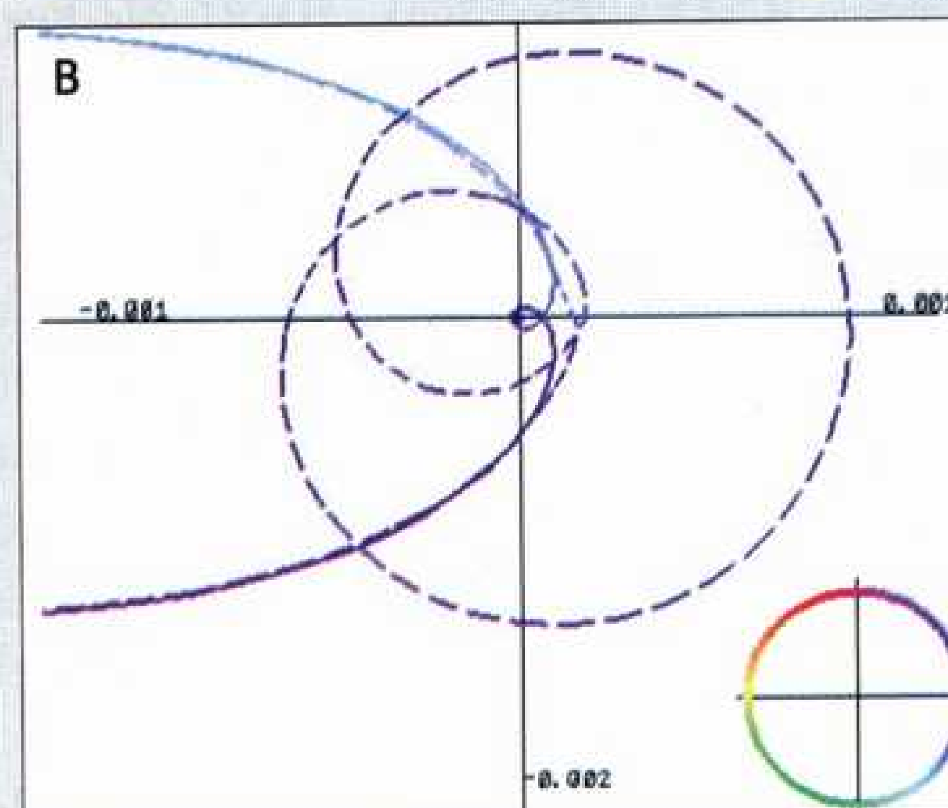
ECUACIONES DIFERENCIALES: EL PROGRAMA DESIR

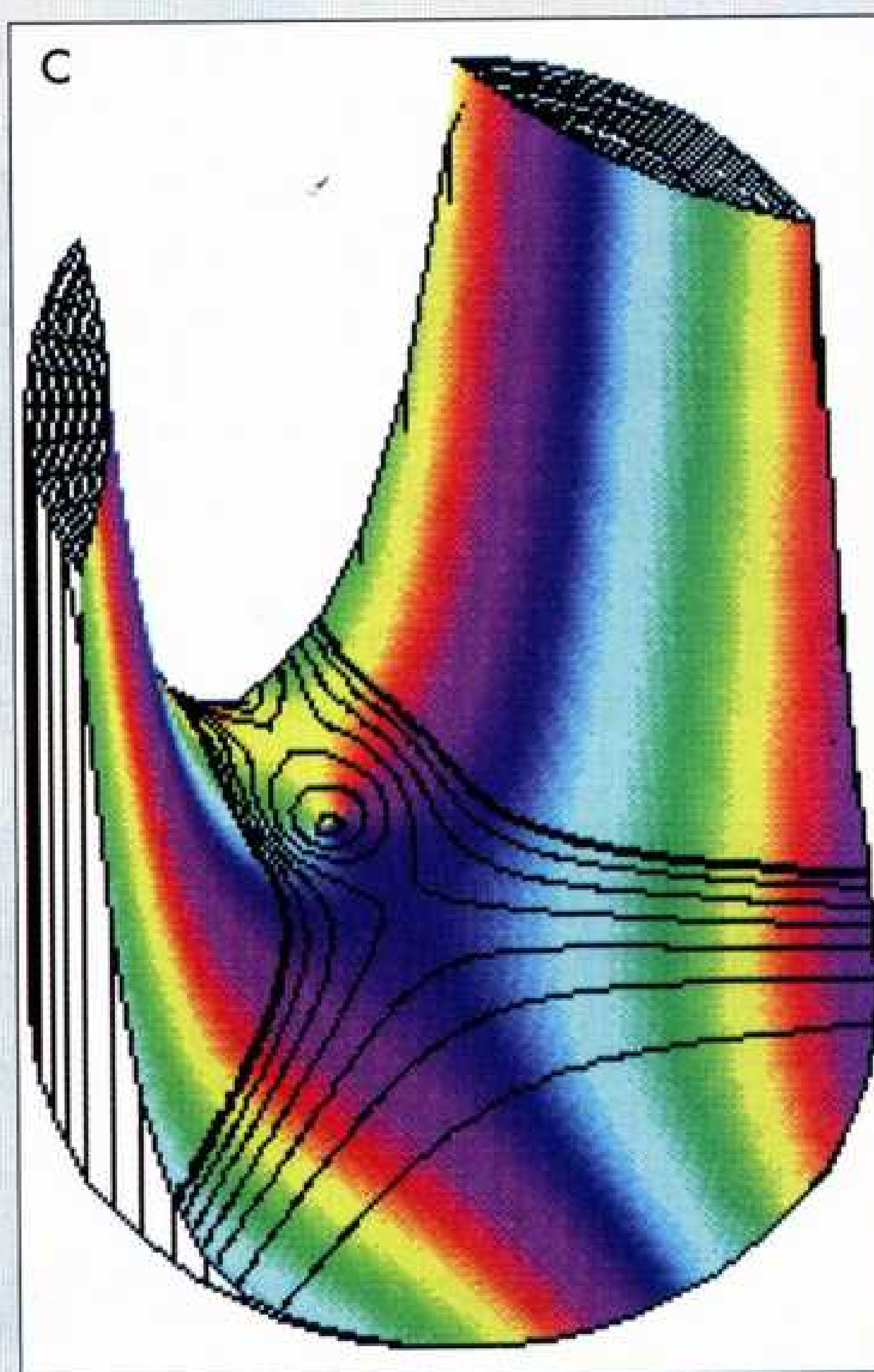
DESIR (Differential Equations, Singularities Irregular and Regular) es un ejemplo de programa que integra métodos formales, numéricos y gráficos. Este software, creado en los años 1980 por los equipos de Jean Della Dora y Jean-Pierre Ramis, de las Universidades de Grenoble y Estrasburgo, se ocupa de la resolución de ecuaciones diferenciales lineales en el ámbito de los números complejos. DESIR recurre a sofisticadas técnicas formales para obtener, tras una etapa numérica, una excelente aproximación de las soluciones cerca de las singularidades (puntos donde ciertas cantidades se hacen infinitas), precisamente allí donde los métodos numéricos clásicos son inutilizables. Luego, estos valores aproximados son representados gráficamente por un programa adaptado. En efecto, estas funciones, que a todo número complejo le asocian otro número complejo, no pueden dibujarse directamente. Dado que un número complejo equivale a un punto del plano (espacio bidimensional), la gráfica requeriría un espacio de cuatro dimensiones. DESIR propone dos métodos de visualización. Los dibujos reproducidos aquí representan la llamada función de Airy, solución particular de la ecuación $f''(z)-z\,f(z)=0$.

El primer método (A) describe la imagen por la función f de una curva, concretamente una circunferencia de centro 0 y radio 6. La imagen de esta circunferencia es una curva del plano. Se conviene en colorear de la misma manera un punto z de la circunferencia de partida. A la escala inicial, la imagen de la parte derecha de la circunferencia es invisible; de hecho, está concentrada cerca del origen, como cabe verificar pidiendo al programa que lleve a cabo «zooms» (B).

El segundo método de visualización (C) consiste en aplicar la función f a los puntos de una superficie simple, aquí el disco de centro 0 y radio 4. En esta representación gráfica, a cada punto z del disco se le atribuye una altura igual al módulo de $f(z)$ y un color que codifica el argumento de $f(z)$. Aquí, la superficie obtenida ha sido truncada a la altura 10 y se han representado algunas líneas de nivel. (Documentos Laboratorio modelización y cálculo/INPG-Grenoble).







ALGORITMO POLINÓMICO
Para un tal algoritmo, el tiempo de cálculo T no aumenta más deprisa que un polinomio en n, el tamaño de los datos. Es un crecimiento mucho más lento que el de un «algoritmo exponencial», en el que T es una función exponencial de n.

NÚMERO COMPLEJO
Número de la forma $z=x+iy$, donde x e y son números reales y $i=\sqrt{-1}$.

El primero estriba en que un método válido para un problema de pequeño tamaño no suele serlo para para un problema análogo de mayor tamaño. En efecto, los algoritmos suelen tener una gran complejidad, en el sentido de que el tiempo de cálculo crece muy deprisa con el tamaño de los datos de entrada: los tiempos de cálculo exponenciales —tiempos que se elevan al cuadrado cuando el tamaño de los datos se dobla— son frecuentes, los doblemente exponenciales —exponencial de una exponencial— no son infrecuentes. Recordemos que los cálculos formales proceden de manera exacta, con enteros «arbitrariamente largos». Por consiguiente, al incrementarse el tamaño de los datos, no sólo aumenta el número de las operaciones sino también el tamaño de los coeficientes sobre los cuales se efectúan dichas operaciones (véase el recuadro «Robótica y sistemas polinomiales: el programa GB»).

Por ello, gran parte de las investigaciones de cálculo formal están dedicadas al estudio de la complejidad de los algoritmos. ¿Cuánto tiempo y cuánto espacio de memoria son necesarios para ejecutarlos, en función del tamaño de los datos de entrada? También es importante, aunque generalmente todavía más difícil, averiguar la complejidad «intrínseca» de un problema. Durante mucho tiempo se creyó, por ejemplo, que la factorización de los polinomios de coeficientes enteros era un problema de complejidad exponencial. Ahora bien, en 1982 se descubrió un algoritmo polinómico* gracias a los trabajos de los holandeses A.K. Lenstra y H.W. Lenstra Jr. y del húngaro L. Lovacz. No obstante, los sistemas de cálculo formal siguen utilizando los antiguos métodos de factorización: sólo para polinomios de grado muy elevado (del orden de varios cientos), que actualmente nadie sabe resolver, podría resultar más eficaz el nuevo algoritmo. Este ejemplo pone de relieve que, al elegir e implantar algoritmos, los estudios teóricos sobre complejidad constituyen una guía extremadamente útil, aunque deben completarse con una experimentación cuidadosa.

La manera de plantear el problema y de representar los resultados exige a veces realizar delicadas elecciones

Una segunda dificultad estriba en la manera de plantear el problema. Sabemos más o menos qué significa «resolver» un sistema de ecuaciones lineales. ¿Sabemos también qué es «resolver» un sistema de ecuaciones polinómicas o diferenciales? Algunos usuarios quieren saber simplemente si hay alguna solución, otros si el número de soluciones es finito, etc. Pero incluso cuando el número de soluciones es finito se impone alguna elección. Por ejemplo, ¿qué significa *resolver* la ecuación (E):

$x^4-2x^3+x-1=0$? Si nos interesamos únicamente por las soluciones pertenecientes al conjunto de los números complejos*, resulta que hay cuatro de tales soluciones. He aquí varias respuestas «razonables»:

– Un valor aproximado de las cuatro soluciones ($i = \sqrt{-1}$):

1,866760400; – 0,8667604000;
0,5000000000 ± 0,6066580495i.

Estos valores, aunque satisfactorios como resultados del cálculo, impiden seguir realizando cálculos exactos: llamando a = 1,866760400 al valor aproximado de la primera solución, entonces $a4 - 2a^3+a$ no vale 1 sino 1,000000010.

– Una expresión por radicales de las soluciones:

$1/2\pm1/2\sqrt{(3+2\sqrt{5})}$ y $1/2\pm1/2\sqrt{(3-2\sqrt{5})}$.

Se trata de un resultado exacto, con el cual es posible seguir realizando cálculos exactos. Pero es bastante complicado

y no es generalizable. Por ejemplo, las soluciones de una ecuación de grado ≥ 5 (como $x^5-x+1=0$) no suelen poder expresarse con radicales.

– Una regla de cálculo: las soluciones de la ecuación (E) son los números a tales que:

$a^4 = 2a - a + 1$.

Ello permite simplificar todas las expresiones que dependen de una solución a sustituyendo a^4 por $2a^3 - a + 1$, a^5, por $4a^3 - a^2 + 2$, etc. Por otro lado, el símbolo a representa una raíz cualquiera de la ecuación (E), por lo que engloba las cuatro soluciones. Pese a su aparente ingenuidad, este método es con frecuencia el mejor para los cálculos intermedios.

Tercera dificultad: la representación de los resultados, que depende mucho del programa considerado. Por ejemplo, en el sistema Maple, la instrucción:

p: =(x–1)* (x–2) ^ 2 * (x–3) ^ 3 va seguida de la respuesta

$(x-1)\ (x-2)^2\ (x-3)^3$. Hay que recurrir a una función de simplificación para poder obtener la forma desarrollada $(x^6-14x^5+80x^4-238x^3+x+387x^2-324x+ +108)$. En el sistema Axiom, en cambio, es la forma desarrollada la que es presentada por defecto, por lo que es necesaria una instrucción para pasar a la escritura factorizada.

A veces, el resultado es tan largo que no es posible utilizarlo directamente. El programa GB (véase recuadro) puede suministrar un resultado que ocupa cientos de megaoctetos; «imprimirlo» no resuelve gran cosa. Solamente un tratamiento ulterior del resultado puede aportar informaciones interesantes sobre las soluciones.

Antes de terminar, volvamos al manejo de los símbolos. Sabemos que se trata de una especificidad de los sistemas de cálculo formal. Estos últimos son capaces de resolver la ecuación $ax = b$ (resultado: x 0 b/a) sin saber nada de a ni de b y evaluar la expresión $(1+x-1)/x$ (resultado: 1) sin saber el valor de x. Estos resultados son correctos, pero no siempre: no se tienen en cuenta los casos particulares. El sistema, por ejemplo, no «ve» que la ecuación $ax = b$ tiene infinitas soluciones cuando $a = b = 0$ y no tiene ninguna cuando $a = 0$ y $b \neq 0$. Tampoco se da cuenta en el caso de la expresión $(1+x-1)/x$ que no está definida cuando $x = 0$.

Estos trabajos en curso pretenden tratar automáticamente todos los casos posibles en los cálculos simbólicos. Un método general es la «evaluación dinámica», basada en la automatización del método ingenuo: a medida que el algoritmo se va ejecutando, se toman en cuenta todas las posibilidades y los diversos cálculos subsiguientes se realizan en paralelo. Este método ha sido implantado en Axiom por la matemática española Teresa Gómez Díaz, de la Universidad de Limoges, para algunos tipos de problemas. Pero queda todavía mucho que hacer en esta dirección.

En informática y matemáticas, el cálculo formal da origen a nuevas problemáticas de investigación

Todas estas dificultades, y otras de las que no se ha podido hablar aquí, son objeto de activas investigaciones a caballo entre las matemáticas y la informática, con progresos debidos a un vaivén entre la teoría y la práctica. Sin duda alguna, el cálculo formal constituye un maravilloso instrumento con el cual los científicos no se atrevían a soñar hace sólo unos decenios. Para evitar las desilusiones, sin embargo, hay que recordar que un sistema de cálculo formal esconde, bajo una apariencia simple, unos instrumentos muy potentes y por lo tanto difíciles de manejar.

No hay que creer, por último, que el cálculo formal sea sólo un instrumento. Aunque su objetivo básico consiste, en efecto, en elaborar unos procedimientos automáticos de cálculo simbólico, el camino hacia ellos recorre varios campos de la informática y las matemáticas. Si bien en este artículo no ha quedado del todo patente, el cálculo formal constituye para estas disciplinas una fuente de nuevas problemáticas de investigación. Lo que ve un usuario en su pantalla de ordenador no es sino la parte emergida de un gran iceberg.

D.D. ■

Para más información:

■ J. Davenport *et al.*, *Calcul formel, Systèmes et algorithmes de manipulations algébriques*, Masson, 2ª edición, 1993.

■ K.O. Geddes *et al.*, *Algorithms for Computer Algebra*, Kluwer Academic Publishers, 1992.

■ D. Lazard *et al.*, *Bulletin de liaison de la recherche en informatique et en automatique*, 130, 1991 (dedicado a una panorámica del investigación del cálculo formal en Francia)

■ M. Mignotte, *Mathématiques pour le calcul formel*, Presses Universitaires de France, 1989.

■ C. Gómez *et al.*, *Calcul formel: mode d'emploi. Exemples en Maple*, Masson, 1995.

■ D. Duval, «Algebraic numbers: an example of dynamic evaluation», *Journal of Symbolic Computation*, *18*, 429, 1994.

■ A.-M. Cohen (ed.), *Compact Algebra in Industry*, Wiley, 1993.

■ A.R. Omondi, *Computer Arithmetic Systems*, Prentice Hall International series in Computer Science, Prentice Hall, 1994.

LOS TESOROS DE LA PIEL DE LAS RANAS

Mohamed Amiche, Antoine Delfour y Pierre Nicolas

Un potente cóctel farmacológico a flor de piel

MOHAMED AMICHE, encargado de investigación en el CNRS, **ANTOINE DELFOUR,** profesor de la Universidad de Poitiers y **PIERRE NICOLAS,** profesor de la Universidad de París-VI, trabajan en el Laboratorio de Bioactivación de Péptidos del Instituto Jacques-Monod (CNRS/ Universidad de París-VII).Correo electrónico: amiche @lovelace. infobiogene.fr

La piel de los anfibios segrega centenares de compuestos químicos que son activos incluso en el hombre: reguladores hormonales, psicotropos, analgésicos, antimicrobianos... Para sorpresa de los investigadores, en el cerebro y en el intestino de los mamíferos se han encontrado los hermanos gemelos de estos compuestos. Un modelo para descubrir nuevos mensajeros químicos. Y una última idea muy en boga: extraer de ellos antibióticos para tratar las enfermedades infecciosas.

En ciertos ritos mágicos, los indios brasileños mayoruna aplican a sus heridas las secreciones de la piel de una rubeta arborícola, la *Phyllomedusa bicolor* (fig. 1). Se supone que la operación debe conferirles fuerza y destreza durante las expediciones de caza. Muchos pueblos primitivos de la cuenca amazónica untan también las puntas de sus flechas con sustancias tóxicas extraídas de la piel de los batracios.

Símbolos mitológicos, literarios, artísticos y folklóricos, tanto las ranas como los sapos han ocupado siempre un lugar destacado en las medicinas tradicionales: la de las brujas y chamanes de la prehistoria, de los sacerdotes-médicos asirios y de las sociedades europeas de la época medieval. Los chinos y luego los romanos utilizaban extractos y decocciones de pieles de anfibios* para tratar afecciones tan diversas como la infertilidad y las mordeduras de perro.

Desde hace unos veinte años, el interés de su utilización milenaria está confirmado científicamente. Estudiando los extractos de la piel de muchas especies de ranas y de sapos, los farmacólogos han descubierto una cantidad elevadísima de pequeños péptidos* dotados de actividades hormonales, psicotropas y antibióticas. Sorprendentemente, muchos de estos péptidos son similares a los que el hombre y los otros mamíferos elaboran



en su cerebro o utilizan para regular su producción de hormonas. De este modo, los batracios se han convertido en animales modelo para descubrir nuevos mensajeros biológicos. De su estudio podrían derivar muchísimas aplicaciones terapéuticas.

Constantemente húmeda y viscosa, la piel de las ranas y de los sapos tiene una estructura muy especial. Contiene dos tipos de glándula: unas, pequeñas, están repartidas uniformemente en toda la superficie. Son las llamadas glándulas mucosas. Sintetizan los mucopolisacáridos que recubren la piel del animal y le impiden desecarse.

Pero son otras glándulas, menos numerosas, las que interesan a los farmacólogos: las glándulas venenosas o glándulas granulosas (fig. 2). De cuatro a cinco veces mayores que las glándulas de mucus, se encuentran fuertemente adheridas a la dermis, y su reparto en el cuerpo es característico de cada especie. Su estructura fina fue descrita a principios de los años 1970 por Graham J. Dockray y Colin R. Hopkins.[1,2] Producen un líquido lechoso que contiene muchos productos tóxicos para los predadores. Es este cóctel el que rebosa de péptidos biológicamente activos.

PÉPTIDOS
Pequeñas moléculas formadas por el encadenamiento de 3 a 60 aminoácidos (componentes elementales de las proteínas).

(1)
C.R. Hopkins, *J. Physiol. (Lond.)*, 219, 9P-10P, 1971.
(2)
G.J. Dockray y C.R. Hopkins, *J. Cell. Biol.*, 64, 724-733, 1975.
(3)
M.M. Chang y S.E. Leeman, *J. Biol. Chem.*, 245, 4.784, 1970.
(4)
M.M. Chang y S.E. Leeman, *Nature*, 232, 86-87, 1971.

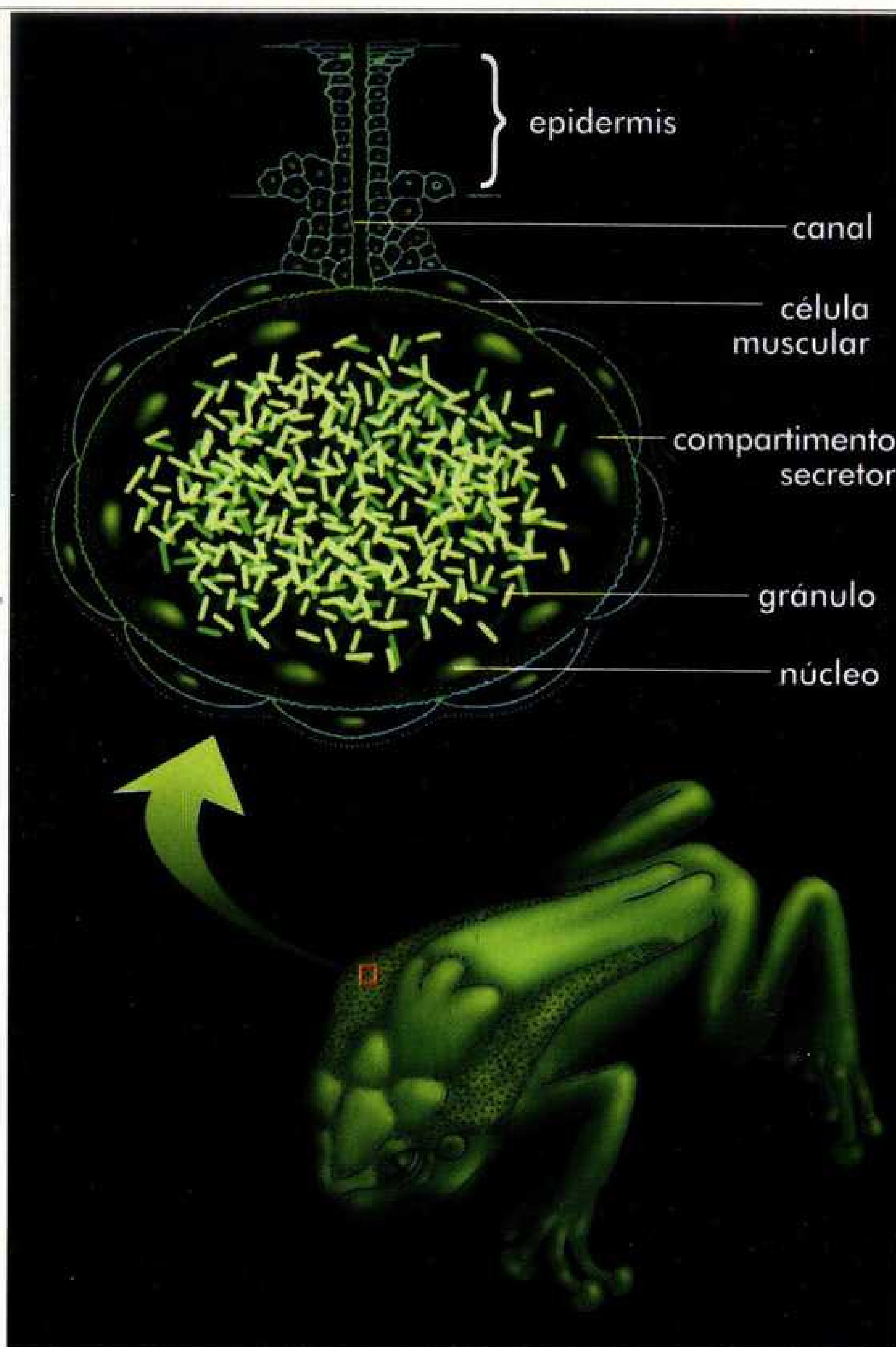


Figura 2. ***Las glándulas venenosas de la*** **Phyllomedusa** ***(aquí,*** **P. Bicolor*****),*** *se localizan en la cara dorsolateral del cuerpo. Al lado, un esquema de su estructura en el* Xenopus laevis, *una rana de África del Sur. Las células secretoras están agrupadas en un sincitio (una sola membrana, pero varios núcleos). Aquí, los péptidos están encerrados en gránulos. En respuesta al estrés, unas fibras nerviosas estimulan las células musculares que envuelven la glándula. Entonces, el contenido de los gránulos es expulsado a la superficie. Hay que esperar varias semanas antes de que la glándula pueda ser estimulada de nuevo.*



Figura 1. ***La rubeta tropical,*** Phyllomedusa bicolor, *vive en los árboles, a varias decenas de metros de altura. Sólo desciende al suelo para reproducirse. Su piel segrega un potente cóctel químico estudiado por los investigadores. (Foto M. Amiche.)Figura*

El descubrimiento de estos péptidos siguió unos caminos complicados. El químico Vittorio Erspamer, de Roma, fue un precursor. En los años 1940, muchos científicos buscaban sustancias biológicamente activas en diversos animales y vegetales. En 1949, estudiando algunos extractos de glándulas salivares del pulpo mediterráneo, *Eledone noschata*, Erspamer observó que ciertos extractos estimulan fuertemente los músculos lisos y disminuyen la presión arterial en animales de laboratorio. El investigador italiano pudo llevar a cabo sus primeros experimentos gracias a las nuevas técnicas de órganos aislados que, mantenidos en supervivencia, permitían estudiar el efecto de diferentes drogas en fragmentos de intestinos, arterias y canales deferentes de ratas, cobayas y conejos: unas pruebas que todavía forman parte de los instrumentos de investigación actuales. En aquella época, se ignoraba la naturaleza química del principio activo. Denominado eledoisina en honor del pulpo, fue identificado trece años más tarde por Erspamer y sus colegas como un péptido de once aminoácidos.

En 1964, estos mismos investigadores aislaron de la piel de una rubeta de la América tropical, la *Physalaemus fuscumaculatus*, otro péptido de once aminoácidos, la fisalemina, cuya estructura y actividad biológica resultaron ser muy parecidas a las de la eledoisina. Estos dos péptidos estimulan las contracciones del intestino del cobaya y de la rata, disminuyen la presión arterial y, a la vez, activan poderosamente la secreción de saliva.

Un conjunto de más de trescientos péptidos biológicamente activos: hormonas, antibióticos, toxinas, opioides...

Todavía hubo que esperar dos años para tomar conciencia de que el efecto de la eledoisina y de la fisalemina era muy parecido al del «polvo P» (o sustancia P) de los mamíferos, descrito cuarenta años antes por los fisiólogos suecos Urs von Euler (premio Nobel 1970) y John Gaddum, a partir de extractos de cerebro y de intestino de caballo. En los meses siguientes, el grupo de Susan Leeman, de Harvard, descubrió el parentesco estructural entre la sustancia P y los dos péptidos del pulpo y de la rana.[3,4]

Estos trabajos pioneros iban a crear adeptos. Posteriormente, en centenares de especies de batracios se identificaron más de trescientos péptidos biológicamente activos (hormonas, neuropéptidos, antibióticos, toxinas). Se agrupan en siete grandes familias: antimicrobianos, bombesinas, bradiquininas, ceruleí-

ANFIBIO PIEL	INTESTINO	MAMÍFERO CEREBRO
Angiotensina	Angiotensina	Angiotensina
TRH (Tiroliberina)	TRH	TRH
Bombesinas - Alitesina - Litorina - Filolitorina - Ranatensina	GRP (gastrin releasing peptide)	Neuromedina B Neuromedina C
Taquiquinina - Hilambatina - Casinina - Fisalemina - Uperoleína	Sustancia P	Sustancia P
Ceruleína	Gastrina	CCK (colecistoquinina)
Xenopsina -Neuromedina N	Neurotensina	Neurotensina Neuromedina N
Dermorfina - Deltorfina - Dermencefalina	Encefalina Endorfina	Encefalina Endorfina
Bradiquinina	?	Bradiquinina
Sauvagina	?	CRF
Espasmolisina	PSP	
Triptofilina	?	?
Antimicrobianos - Magainina - Dermaseptina	?	?

Figura 3: ***Péptidos de la piel de anfibios** y sus equivalentes en los mamíferos (la lista no está, ni con mucho, completa). Todo péptido hallado en la piel de la rana tiene su contrapartida en el cerebro y en el intestino de los mamíferos, bajo la forma de un péptido de estructura y de actividad idénticas o muy parecidas. Casi siempre, en el intestino o el cerebro de los mamíferos se han encontrado compuestos análogos o idénticos.*

ANFIBIO
Derivado del griego *amphibios*, «que vive una doble vida». Los adultos son terrestres, pero su reproducción tiene lugar en el agua, y las larvas son acuáticas. En el adulto, la piel se mantiene constantemente húmeda. Sinónimo: batracio. De ellos hay más de tres mil especies repartidas en tres órdenes: los urodelos (tritones y salamandras), los ápodos (anfibios tropicales, excavadores y ciegos) y los anuros (ranas y sapos).

nas, opioides, taquiquininas y triptofilinas, al lado de otros péptidos todavía sin agrupar. A pesar de que cada especie tiene su propia gama de péptidos, es posible encontrar la misma molécula en batracios que viven en los puntos de la Tierra muy alejados entre sí.

Sorprendentemente, en el sistema nervioso y digestivo de los mamíferos, se han encontrado análogos de péptidos de los anfibios. Su función consiste en hacer de mensajeros químicos, pero la explicación de esta inesperada homología todavía nos es desconocida. Así, la angiotensina (una hormona que tiene, entre otras, la propiedad de contraer los vasos sanguíneos y de intervenir en la sed), la tiroliberina, o TRH (factor de liberación de la hormona tireotropa) y la bradiquinina (un potente hipotensor) son absolutamente iguales en los mamíferos y en la piel de los batracios. Aparte de la TRH, que interviene en la metamorfosis, ignoramos en absoluto la función que tienen las demás en estos animales. Hay otros péptidos que se les parecen mucho: la sauvagina, la xenopsina y la ceruleína de las ranas tienen las mismas actividades biológicas que, respectivamente, el CRF (factor de liberación de la hormona corticotropa), la neurotensina y la colecistoquinina de los mamíferos. La correspondencia es tal que en la actualidad se habla del «triángulo piel-cerebro-intestino»: todo péptido hallado en la piel de la rana tiene su contrapartida en el cerebro y el intestino de los mamíferos, bajo la forma de un péptido de estructura y de actividad idénticas o muy parecidas (fig. 3).



Sobre todo, las glándulas cutáneas de los batracios segregan estos péptidos en cantidades que harían empalidecer a los otros vertebrados (fig. 4). Por ejemplo, la piel de ciertos anuros contiene aproximadamente un miligramo de tiroliberina, cantidad equivalente a la que, en el aislamiento de esta hormona, obtuvo en 1969 el equipo de Roger Guillemin (premio Nobel 1977) a partir de los cerebros de 270.000 carneros.

De ahí la idea de explotar la piel de las ranas para descubrir péptidos que en los mamíferos sólo se hallan en cantidad ínfima, imposible de aislar, o cuya existencia ni tan sólo se sospechaba. Gracias a ciertas argucias ha sido posible descubrir nuevos mensajeros del sistema nervioso central. Es el caso, por ejemplo, de la neuromedina, una sustancia que disminuye el diámetro de los vasos sanguíneos (vasoconstrictor) y que aumenta la presión arterial (hipertensor). Descubierta en 1983 en la médula espinal del cerdo por Naoto Minamino y sus colegas, en Japón, es la contrapartida de la bombesina que, a su vez, fue aislada en 1971 por el equipo de Erspamer en la piel del sapo sonador de vientre de fuego (*Bombina bombina*).

Recientemente, varios laboratorios, entre ellos el nuestro, han descubierto en las ranas dos nuevas familias de péptidos que podrían tener importantes aplicaciones terapéuticas en el hombre. La primera interviene en el control del dolor: se trata de los opioides, unos péptidos cuyo efecto es análogo al de la morfina.

El descubrimiento de la morfina, uno de los principios activos del opio extraído de la adormidera, se remonta al siglo XIX. Este alcaloide vegetal, al unirse con unos receptores específicos que hay en las membranas de las neuronas, es capaz de inhibir la transmisión de las informaciones dolorosas.[1] Además de su actividad antálgica, la morfina induce una gran variedad de efectos fisiológicos y comportamentales (euforia, depresión respiratoria, modificación del tránsito intestinal, dependencia y tolerancia, etc.), que se explican por el hecho de que se une a diferentes tipos de receptores.

Desde el descubrimiento, en 1973, de estos receptores, los científicos están buscando compuestos naturalmente presentes en el cerebro y capaces de unirse a ellos. En 1975, John Hugues y Hans Kosterlitz, de la Universidad de Aberdeen (Escocia), aislaron a partir de cerebros de cerdo dos péptidos opioides a los que

Mundo Científico ha publicado:
(I) «Los mensajeros químicos del cerebro», nº 5, julio 1981; «Encefalinas y endorfinas», nº 21, enero 1983.
(II) «La piel de los anfibios protege de los microbios», nº 78, marzo 1988.

Figura 4. ***Algunos dendrobatos segregan*** *un veneno mortal para el hombre (abajo,* Dendrobates tinctorius *de la Guayana francesa. A la derecha,* Dendrobates leucomelas *de América Central). Pero las ranas no tienen aparato inoculador: las toxinas no franquean la barrera de la piel humana y sólo son peligrosas si se tienen heridas. (Fotos Heuclin, Lefevre y Munoz/Bios.)*



Espléndidos, pero altamente tóxicos

dieron los nombres de medionina-encefalina y leucina-encefalina. En 1976, el grupo de Choh Hao Li, de California, identificó otro péptido opioide: la β-endorfina. Finalmente, en 1981, el equipo de Avram Goldstein, de la Universidad de Stanford, caracterizó una nueva clase: las dinorfinas A y B.

Dado que estos péptidos estaban presentes en el cerebro, era lógico que en los anfibios se encontraran compuestos análogos. Una vez más, Erspamer fue el pionero. A finales de los años 1970, aisló en una rubeta arborícola sudamericana (*Phillomedusa sauvagii*) la dermorfina, un opioide cuya actividad antálgica es mil veces superior a la de la morfina y diez veces superior a la de la β-endorfina. Por aquel entonces, estos trabajos tuvieron dificultades para ser reconocidos por la comunidad científica: la revista *Nature* rehusó su publicación, aduciendo como pretexto la gran cantidad de péptidos opioides ya conocidos. Erspamer y sus

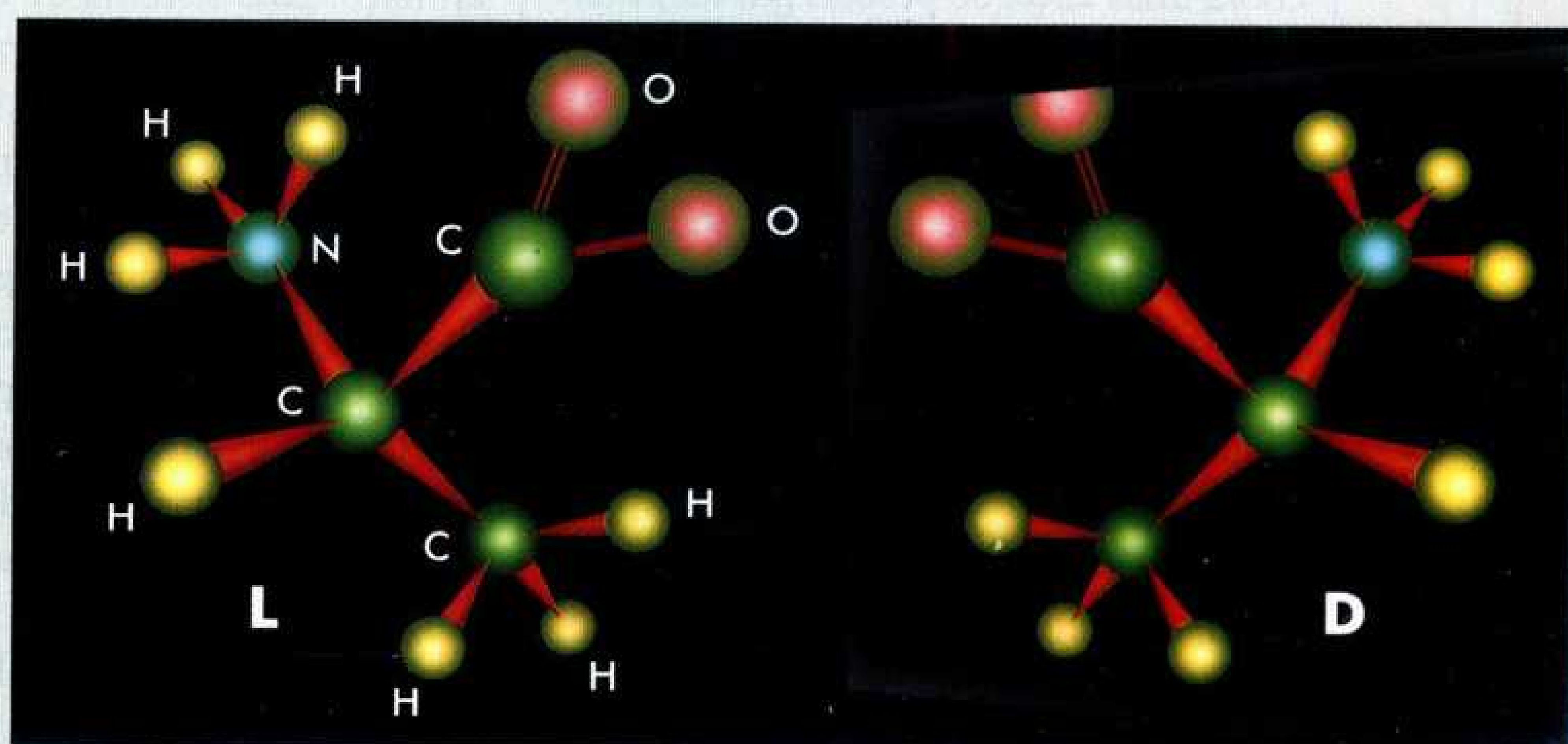
BACTERIAS GRAM+ Y GRAM – Clasificación de las bacterias según su reacción a una coloración puesta a punto por el médico danés Hans Gram a finales del siglo XIX.

UNIVERSIDAD DE CAEN-BAJA NORMANDÍA (76) «Biología, vegetales y hongos». Presentación de las actividades de laboratorio y de grupo de investigación de la universidad. Trabajos del Instituto de Investigación de Biología Aplicada: «De la farmacia de ayer al medicamento de mañana».

MOLÉCULAS DE FORMAS EXTRAÑAS

¿Qué es lo que confiere a los opioides (péptidos con efectos parecidos a los de la morfina) de la piel de los anfibios sus propiedades tan notables? Son de una potencia excepcional y son resistentes a las proteasas (enzimas) que digieren normalmente las proteínas.

Cuando aisló el primer opioide de la piel de una rana (del género *Phyllomedusa*), el químico italiano Vittorio Erspamer se halló ante una característica enormemente sorprendente. Su estructura era muy diferente de la de todos los péptidos conocidos en los animales. La diferencia está en la disposición geométrica de los átomos en la molécula. Los compuestos químicos del ser vivo son asimétricos o «quirales» (de *chiros*, mano): como la mano izquierda y la mano derecha, su imagen en un espejo es diferente. Así, los aminoácidos que componen los péptidos de los animales son de configuración L, una configuración determinada por la posición en el espacio de los grupos químicos que lleva el átomo de carbono central. Pero, sorpresa: los péptidos opioides de los batracios se apartan del dogma. Uno de los aminoácidos (en segunda posición en la molécula) es de configuración D. Esto altera la forma global de la molécula (en el esquema, un aminoácido, la alanina, en sus configuraciones L y D).



Posteriormente, esta propiedad volvió a encontrarse en otros péptidos: las bombininas H del sapo sonador de vientre amarillo (*Bombina variegata*),[1] la fulicina y la acatina de los ganglios nerviosos del caracol,[2, 3] la hormona hiperglicemiante de los crustáceos,[4] una toxina del veneno del arácnido *Agelenopsis aperta*...

¿Cómo consigue el animal fabricar estos péptidos que contienen aminoácidos de configuración D? Por el momento, desconocemos la respuesta. Ciertos enzimas podrían efectuar el paso de la configuración L a la configuración D (isomerización).[5, 6]

(1) G. Mignona *et al.*, EMBO, *12*, 4.829, 1993.
(2) Y. Kamatani *et al.*, *Biochem. Biophys. Res. Commun*, *160*, 1.015, 1989.
(3) N. Otha *et al.*, *Biochem. Biophys. Res. Commun*, *178*, 486, 1991.
(4) D. Soyez *et al.*, *J. Biol. Chem.*, *269*, 18.295, 1994.
(5) A. Mor *et al.*, *Trends Biochem. Sci.*, *204*, 481, 1992.
(6) S.D. Heck *et al.*, *Science*, *266*, 1.065, 1994.

colaboradores no pudieron publicar su descubrimiento hasta 1981.[5,6] Más tarde su equipo y posteriormente el nuestro —nosotros iniciamos la investigación en este campo hace diez años— identificaron en la piel de las ranas ecuatoriales unos diez pequeños péptidos opioides nuevos, todos ellos constituidos por siete aminoácidos.[7,8,9]

Estos péptidos, cuya función en la rana desconocemos, poseen unas propiedades muy notables (véase el recuadro «Moléculas de formas extrañas»). A diferencia de los péptidos de mamíferos, cada uno de ellos se une, con una fuerza excepcional, a un tipo único de receptor cerebral.[10] Su efecto es impresionante y fácilmente visible en laboratorio. Cuando se expone el extremo de la cola de un ratón a una bombilla de gran potencia, al cabo de algunos segundos, el calor provoca en la cola un efecto de retracción. En cambio, si previamente el animal ha recibido una inyección intravenosa o intracraneal de extractos semipurificados de piel de rubetas, se vuelve insensible. A dosis más altas, los extractos provocan catalepsia, estado que solamente puede reproducirse con cantidades masivas de morfina.

Sin embargo, ninguno de estos compuestos, ni incluso la dermorfina, es objeto de ensayos clínicos. Y esto por diversas razones. Por una parte, la utilización de péptidos como medicamentos tropieza con problemas de administración, ya que quedan destruidos fácilmente por digestión o en la circulación sanguínea. Por otra parte, el coste de síntesis de estas pequeñas moléculas es prohibitivo. A título de ejemplo digamos que una empresa cobra unas 250.000 pesetas por diez miligramos de un péptido puro de diez aminoácidos. A esto hay que añadir la costumbre adquirida, hace ya décadas, de utilizar la morfina con unas posologías y unos efectos perfectamente conocidos. El futuro de estos péptidos opioides es más bien el de servir de modelo para la fabricación de moléculas contra el dolor.

ANIMALES CON PÉPTIDOS

Un criadero con unas diez rubetas arborícolas *Phyllomedusa bicolor*, traídas de la Guayana francesa, garantiza el aprovisionamiento del Laboratorio de Bioactivación de Péptidos del Instituto Jacques Monod (CNRS/ Universidad de París-VII).

La recogida de las secreciones es muy fácil: basta presionar la piel de la rana para recoger algunas gotas. Los péptidos suelen estar presentes en cantidades enormes (hasta un miligramo por gramo de piel): 100 a 200 microlitros de veneno bastan para aislar y caracterizar un compuesto.

A partir del extracto bruto, una serie de tests de la actividad biológica, asociados a la separación de los compuestos por cromatografía HPLC, permite aislar un péptido. Su composición viene determinada por secuenciación automática. Un sintetizador permite entonces fabricar el compuesto en cantidad suficiente para los estudios físico-químicos (estudio de la estructura en el espacio de la molécula). Modificando el péptido, también pueden comprenderse las relaciones entre estructura y actividad biológica. El péptido puede servir entonces de modelo para la industria farmacéutica, como punto de partida para la elaboración de un medicamento. La finalidad es obtener compuestos químicos más pequeños, más activos, menos caros y menos tóxicos.

El segundo objetivo es buscar, en las ramas del DNA, el gen correspondiente al péptido e identificar eventuales homólogos en los mamíferos. Por tanto, lo que estamos haciendo es aislar los genes de un opioide de la familia de las dermorfinas y de un péptido antimicrobiano de la familia de las dermaseptinas. (Foto M. Amiche/Institut Jacques Monod.)



Un antibiótico derivado de la magainina de la rana de uñas es objeto de pruebas clínicas para tratar las úlceras infectadas de los diabéticos

La industria farmacéutica se interesa sobre todo por otra clase de péptidos: los de efectos antibióticos. La piel de las ranas encierra un sistema de defensa química contra los microorganismos, que coexiste con el sistema inmunitario «clásico» a base de anticuerpos y de células asesinas. El descubrimiento de este segundo sistema de defensa en los vertebrados ha sido una aportación fundamental del estudio de los péptidos de los anfibios. Este sistema de defensa era ya conocido en los invertebrados, especialmente en los insectos. El sistema inmunitario de estos animales no se parece al nuestro. Ellos combaten eficazmente la proliferación de microorganismos sintetizando péptidos antimicrobianos de amplio espectro (es decir, capaces de matar sin discriminación alguna muchísimos tipos de bacterias) llamados cecropinas. En estos últimos años, varios equipos han descubierto péptidos análogos en la piel de los anfibios y en las paredes de las cavidades intestinales, respiratorias y urogenitales de los mamíferos, incluido el hombre.

Magaininas de la rana de uñas, bombininas de los sapos sonadores, brevininas, pipininas y esculentinas de las ranas del género *Rana* (ranas verdes y rojas): más de cincuenta antimicrobianos se han aislado ya a partir de la piel de los anfibios. En nuestro laboratorio, nos hemos interesado por dos rubetas sudamericanas: la *Phyllomedusa sauvagii* y la *Phyllomedusa bicolor* (véase el recuadro «Animales con péptidos»). Estas ranas segregan una familia de péptidos con 27 a 34 aminoácidos: las dermaseptinas.[11] Desde 1991, nosotros hemos aislado diez. Las dermaseptinas tienen un espectro antibiótico muy amplio contra las bacterias Gram+ y Gram-,* las levaduras, los hongos y los protozoos flagelados, tales como las leishmanias.[12]

El interés potencial de estos péptidos para tratar las infecciones estriba en el aumento del número de cepas de bacterias, hongos y protozoos que han desarrollado resistencia a varios antibióticos. De ahí la necesidad de crear o descubrir moléculas de un tipo nuevo cuyo modo de acción pueda escapar a los mecanismos de protección que ponen en marcha los patógenos.

Precisamente, los péptidos antimicrobianos de la piel de los batracios difieren mucho de los antibióticos clásicos. En primer lugar, se producen en forma de precursores de gran tamaño e inactivos. Unos enzimas están encargados de liberar al péptido activo, que mata instantáneamente a las bacterias adhiriéndose a su pared y destruyéndola.

(5)
P.C. Montecucchi et al, Int. J. Peptide Protein Res., 17, 275, 1981.
(6)
P.C. Montecucchi et al., Int. J. Peptide Protein Res., 17, 316, 1981.
(7)
A. Mor et al., FEBS Lett., 255, 269, 1989.
(8)
L.H. Lazarus et al., J. Biol. Chem, 264, 3.047, 1989.
(9)
V. Erspamer et al., Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 86, 5.188, 1989.
(10)
M. Amiche et al., Eur. J. Biochem, 189, 625, 1990.
(11)
A. Mor et al., Biochemistry, 33, 6.642, 1994.
(12)
P. Nicolas y A. Delfour, Pathol. Biol. 42 n.º 4, 287, 1994.

Estos péptidos no son tóxicos para el hombre, ya que nuestras células tienen una membrana de composición diferente de la de los microorganismos. En su mayor parte son activos a dosis muy pequeñas (micromolares), y como actúan directamente sobre la pared de los microorganismos, no parecen provocar resistencia.[13] Podrían, pues, servir de base para crear nuevos medicamentos contra las infecciones bacterianas y parasitarias o bien para tratar las micosis.

Algunas empresas norteamericanas, como Intrabiotics y Magainin Pharmaceutical, ya han puesto en marcha vastos programas con el fin de utilizar los antimicrobianos de los vertebrados como alternativa a los antibióticos clásicos. Magainin Pharmaceutical fue creada por Michael Zalstoff, el científico descubridor de la magainina. Acaba de ser adquirida por Sandoz. La industria francesa empieza también a interesarse por algunos péptidos, como las dermaseptinas. Además del problema del coste, es necesario que estos péptidos consigan alcanzar el punto de la infección sin ser destruidos por el organismo ni provocar efectos secundarios.

Por tanto, en su estructura se están buscando los motivos responsables de la actividad antimicrobiana, a fin de crear moléculas sintéticas que no sean caras y que carezcan de efectos tóxicos. De conseguirse, estas moléculas podrían ser de un interés considerable para los clínicos. A su cabeza figura el MSI-78, un péptido de veinte aminoácidos análogo a la magainina-2, desarrollado por Magainin Pharmaceutical y que actualmente se halla en la última fase (fase III) de ensayo clínico, en forma de pomada, para tratar úlceras infectadas de los diabéticos. La misma empresa piensa desarrollar cremas para frenar la calvicie y una pasta dentífrica.

En el momento actual, más de la mitad de los medicamentos corresponden a moléculas naturales o derivan directamente de ellas. Tradicionalmente, los farmacólogos y los industriales dirigen su mirada al mundo vegetal para aislar nuevas moléculas. Los estudios recientes de las secreciones de la piel de las ranas han permitido apreciar la gran diversidad y, sobre todo, la gran originalidad de las moléculas que hay en la flora y la fauna. El cóctel de péptidos de las glándulas venenosas de los batracios nos reserva todavía sorpresas.

M.A., A.D. y P.N. ■

(13) P. Nicolas y A. Mor, *Ann. Rev. Microbiol.* *41*, 103, 1995.

Para más información:

■ L.H. Lazarus y M. Attila, «The toad, ugly and venomous, wears yet a precious jewel in his skin», *Progress in Neurobiology*, *41*, 473, 1993.

■ K. Milton, «No pain, no game», *Natural History*, septiembre 1994.

TERTULIA

Beethoven *versus* Newton

Jorge Wagensberg



JORGE WAGENSBERG es físico y director del Museo de la Ciencia de Barcelona.

El *Concierto de violín en Re* de Ludwig van Beethoven, *opus* 61, está ahí, en la historia de la música, como una torre visible desde cualquier distancia y dirección. Conviene un sencillo ejercicio doble: escucharlo y leerlo a la vez. Para seguir una audición de esta obra con la partitura, bastan unos rudimentos intuitivos de solfeo (más arriba, más agudo; más blanco, más largo). Lo primero que se percibe es un claro contraste entre lo que se oye y lo que se ve. Por el oído entra todo un mundo de serena belleza y espiritualidad luminosa: es una grandiosidad. Pero ante la vista desfilan elementos muy simples, dibujos melódicos y rítmicos casi geométricos, escalas cromáticas, acordes arpegiados en séptima, largos trinos, octavas... se diría incluso que se trata de estudios de mecanismos para dedos y golpes de arco. Ni una fórmula virtuosística. Es la grandeza: lo extenso y complejo es inteligible porque se comprime en lo breve y lo simple. ¿Dónde he visto antes la grandeza de una grandiosidad?

Este tipo de grandeza, la de la *comprensión por comprensión*, no es obligatoria en música. No ocurre por ejemplo, en el *Concierto de violín* de Brahms (enorme, pero de complejidades poco reducibles). Ni siquiera ocurre con los íntimos cuartetos o las densas sonatas de piano del propio Beethoven. En ciencia, sin embargo, este tipo de inteligibilidad es, como mínimo, prioritaria. Ocurre con las leyes de la mecánica de Newton, cuya grandeza está en comprimir grandiosidades tan dispares como el movimiento de un planeta o el vuelo de un insecto. Estas leyes son aún, para muchos, la referencia central de la ciencia moderna. Otras disciplinas se construyen sumando, combinando, simulando o emulando tales fundamentos. Digamos que este tipo de inteligibilidad es, en ciencia, una exigencia y, en arte, una opción; por ejemplo, la de Beethoven en este concierto, ¿por qué?

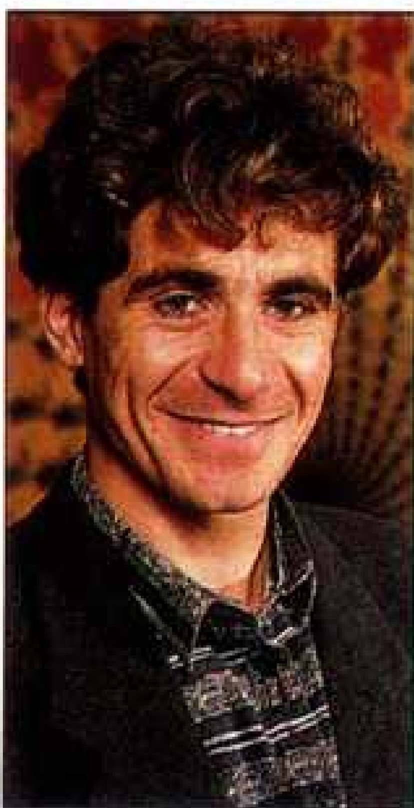
El *Concierto de violín en Re* de Beethoven es una investigación científica sobre la inteligibilidad del instrumento. ¿Cómo saber, de una vez por todas, cuál es la eficacia de un violín? El primer tiempo, el *Allegre ma non troppo*, lleva peso de la prueba. El violín no se pelea contra la orquesta, sino que requiere su colaboración, pregunta, contrasta, duda, confirma, dialoga, busca... y encuentra. En el segundo tiempo, el *Larghetto*, se aplican los resultados con emoción contenida. Un tema, bellísimo, se mueve, oscila, evoluciona, acepta nuevas ideas frescas y, de repente... se hace la luz. La belleza es casi insoportable. ¡Funciona! El científico que ha vivido esta clase de júbilo reconoce también el tipo de inquietud que le sigue inmediatamente después Y ahora, ¿qué hago? ¿Cómo convencer a los demás de esta trascendencia? ¡Hay tantas aplicaciones posibles! ¿Y si resulta que es incluso más universal de lo que parece? ¡Queda tanto por hacer! ¿Y si no es tan trascendente? ¿Y si no lo es nada? Es el momento justo de valorar la conquista, de la autocrítica, la hora de desdramatizar, de recurrir a una mínima dosis de humor. Es el *Rondó*, el movimiento final. El violín y la orquesta juegan el uno con el otro y la tensión se esfuma: se insinúa una cierta continuación, pero el violín da un quiebro y, en lugar de ceder la palabra a la orquesta, la retoma, sin permiso aparente, en un registro más agudo... El cerebro acepta gozoso el reto de ahora predecir, ahora soprenderse. No vayamos a olvidar que cualquier verdad tiene un límite y una vigencia.

La obra divide hondamente la historia de la música en dos. Preguntemos a los violinistas, a los compositores, a los melómanos. Alguien tenía que escribir los fundamentos de la mecánica, alguien tenía que escribir este concierto. ■

PARADÓJICO PERO FÍSICO

¿Cómo divulgar sin ser manipulado?

Étienne Klein



ÉTIENNE KLEIN es ingeniero del CEA.

La difusión de los conocimientos es una empresa tan legítima como necesaria. Los propios científicos sacan provecho de ella. Algunos tratados generales han sido muy importantes para el progreso de la ciencia. Los investigadores, como todo el mundo, recurren a obras de divulgación cuando quieren hacerse una idea de lo que se cuece en campos ajenos: tratado de Maastricht, reforma de la Constitución, vida sexual de los ornitorrincos, pensamiento de Martin Heidegger... Todos consumimos divulgación.

Pero la física plantea problemas especiales a quien pretende explicarla al gran público. Una dificultad estriba en que esta disciplina ha tenido que forjar conceptos ajenos al lenguaje ordinario y bastante alejados de la experiencia común. Ahora bien, el objetivo de la divulgación es precisamente traducir cualquier cosa a palabras o imágenes. Debido a esta antinomia, toda metáfora con intención pedagógica puede llevar a contrasentidos; toda simplificación excesiva puede inducir a graves errores. Nos encontramos, pues, en los límites mismos del arte de explicar: explicar algo a alguien es poner este algo *en relación* con las nociones ya conocidas por dicho alguien. Pero, ¿cómo explicar precisamente lo que *no* está *en relación* con ningún elemento familiar?

Consideremos el caso, emblemático desde este punto de vista, de la física cuántica. Bajo el pretexto de que es difícil traducirla con sencillez, más que explicarla, se la invoca. Más que citarla, se hace referencia a ella. Por ello, muchas obras no científicas se nutren de alusiones imprecisas pero deferentes con sus presuntas enseñanzas, que utilizan para conferir a concepciones aproximadas sobre la «naturaleza de las cosas» el prestigio de una teoría física. Ciertas corrientes se alimentan de estas manipulaciones. Así lo hace, por ejemplo, el *New Age*, una maleza donde proliferan todo tipo de discursos sobre las religiones, el alma y la ciencia. De entrada, el *New Age* seduce a cuantos están interesados por el intelecto y se preocupan de establecer conexiones entre campos donde desempeña un papel. Pero al borde de ciertos senderos de esta maleza, se ve cómo la cibernética planetaria se entrelaza con la física de partículas, la cosmología, el caos, las neurociencias, todas ellas bautizadas como «nuevas ciencias». Algunos escribas *del New Age* logran edificar, a base de esparadrapo sincrético, una especie de holismo basado en dualismos tomados de la física: materia-energía, dualidad onda-corpúsculo, espacio-tiempo... ¿No obligan tales mejunjes a preguntarse por los efectos perversos de la divulgación cuando difunde vocabulario en vez de conceptos, imágenes en vez de ideas, metáforas en vez de explicaciones?

La física está en terreno resbaladizo: si se desmarca claramente de sus falsificaciones, se la acusa de dogmatismo; si no lo hace, corre el riesgo de dejar que se destruyan sus propias raíces. ■

«¡Un niño de 5 años lo comprendería! ¡Traedme a un niño de 5 años!» Groucho Marx

EL TELÉFONO

Hervé Kempf

Cambios de número, boom de la radiotelefonía, competencia de Internet: el más cotidiano de los objetos, el teléfono, vive una actualidad frenética a la medida de los cambios tecnológicos que lo han transformado radicalmente en poco más de un siglo.

¿Cuál es el sistema para conversar a distancia?

Con la colaboración de **RENÉ WALLSTEIN**, de Matra Ericsson Télecom.

La telefonía se basa en transformar la voz de una persona en señales eléctricas y en tranportar estas señales hasta otro lugar, donde son retransformadas en ondas sonoras que restituyen la palabra emitida. La invención del teléfono se atribuye clásicamente a Alexander Graham Bell; la primera frase transmitida habría sido, en 1876: «Mr Graham, come here, I need you» («Sr. Graham, venga, le necesito»). Algunos historiadores atribuyen sin embargo esta paternidad al dispositivo más rudimentario construido por el alemán Philipp Reiss en 1861. La primera frase *telefoneada* habría sido entonces: «Das Pferd frisst keine Gurken» («El caballo no come pepinos»).

El sistema de telefonía comprende unos terminales, los *teléfonos*, unidos entre sí por una red en cuyas intersecciones se encuentran unos centros de distribución, llamados *conmutadores* por los técnicos, pero conocidos por el gran público bajo el nombre de centrales telefónicas. La energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del sistema es enviada por los conmutadores a los receptores telefónicos conectados a ellos en forma de una corriente de baja tensión (una intensidad de entre 30 y 60 miliamperios, bajo una tensión de 48 voltios); la red telefónica clásica es, pues, una red eléctrica.

¿Cómo se mantiene la intensidad de la señal en un enlace telefónico?



El alcance sin amplificación de un enlace es de unos 20 km con los conductores de cobre usuales, cuyo diámetro mide entre 0,4 y 0,8 mm. En la práctica, la distancia entre una terminal y su conmutador es lo bastante reducida como para que no haya necesidad de reamplificar la señal. No ocurre lo mismo con los enlaces entre conmutadores. En tal caso, se agrupan varias comunicaciones en la misma arteria de transmisión, donde las señales deben amplificarse a intervalos regulares. De otro modo, la atenuación de las señales sería tal, que las conversaciones serían inaudibles. La atenuación es debida a las pérdidas por efecto Joule (desprendimiento de calor debido a la resistencia que ofrece el material conductor al movimiento de los electrones). En los enlaces de transmisión de cable coaxial, es necesaria una amplificación cada 1,6 km; los enlaces de fibra óptica toleran unos intervalos entre amplificadores mucho mayores, cada 40, 50 o 100 km.

¿Cómo funciona un aparato telefónico?

Cada teléfono está conectado al conmutador por una línea formada por dos hilos de cobre. Un teléfono consta esencialmente de un micrófono, un auricular y unos órganos de señalización (señal auditiva y teclado para marcar el número). Durante mucho tiempo, el micrófono ha consistido en una cápsula de gránulos de carbón intercalada entre dos electrodos conectados a la línea. La voz engendra unas ondas de presión que hacen vibrar ligeramente uno de los electrodos y, como consecuencia, los gránulos de carbón. Ello provoca una modulación de la resistencia eléctrica que el micrófono opone a la corriente de alimentación. Esta modulación se convierte en una modulación de tensión transmitida a través de la red telefónica hasta el receptor de la persona a quien va dirigida la llamada. Los micrófonos actuales funcionan sobre la base del mismo principio, sin embargo el carbón ha desaparecido; estos micrófonos, llamados *de electreto*, recurren a la acción de un campo eléctrico entre una membrana de teflón cargada por una cara y la rejilla de un transistor de efecto de campo.

El auricular, conectado en paralelo a la línea, está formado por un electroimán que, según la intensidad de la corriente que lo atraviesa, atrae más o menos el centro de una delgada chapa elástica de material magnético. Las rápidas deformaciones de la hoja provocan pequeños movimientos de aire y éstos engendran las ondas sonoras que restituyen la voz.

Cada aparato telefónico contiene un contacto que provoca la apertura o el cierre de la línea cuando el abonado cuelga o descuelga. La apertura interrumpe la circulación de la corriente de reposo, lo cual indica al conmutador cuál es la situación del aparato. Para activar la señal acústica del teléfono cuando se ha colgado, el conmutador envía una corriente alterna a la línea. Cuando el abonado descuelga, una corriente continua de reposo se superpone a la corriente alterna. Al detectar esta corriente continua, la central interrumpe el envío de la corriente responsable de la señal acústica.

¿Cómo se atribuyen los números de teléfono?



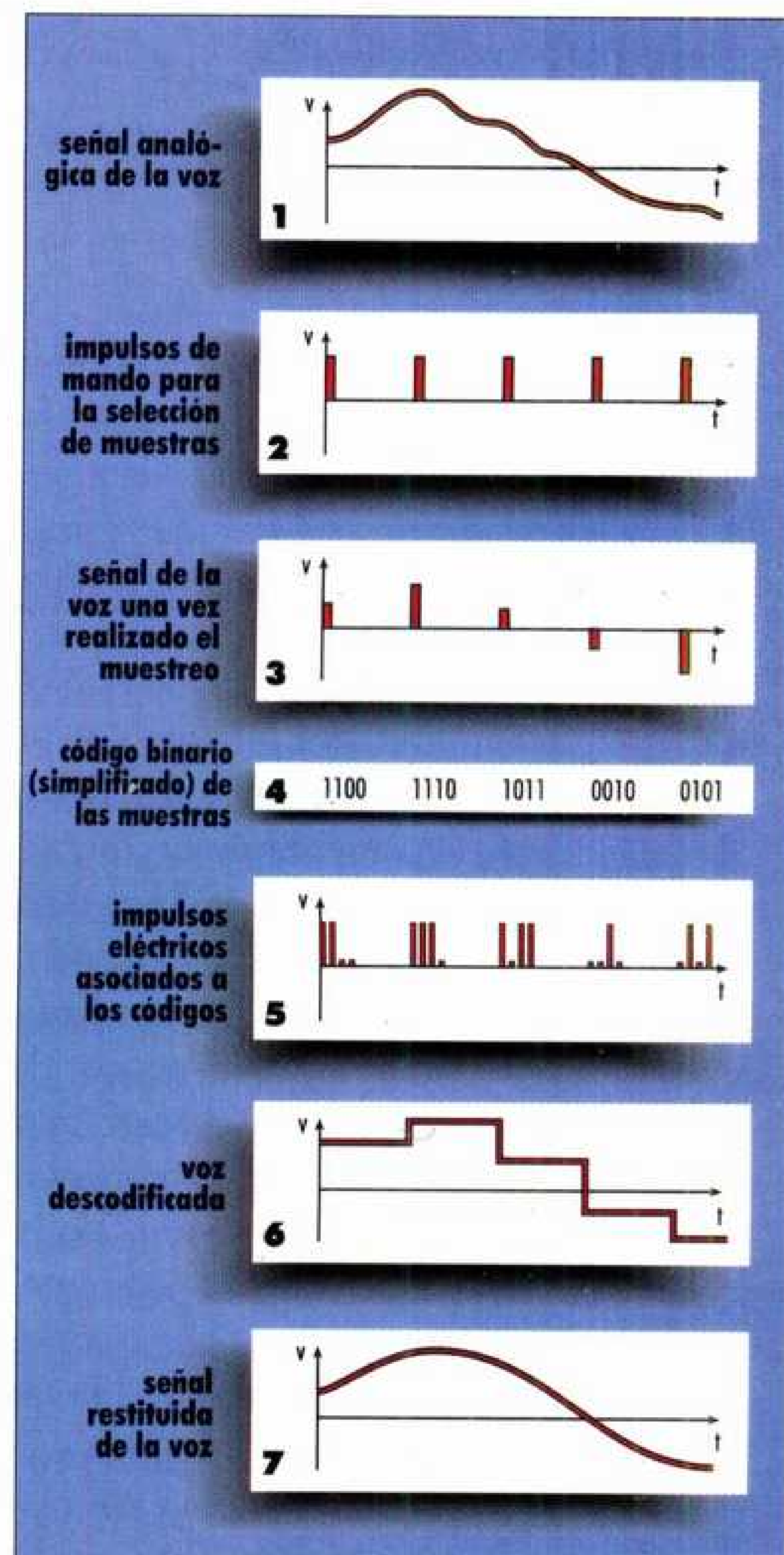
En los receptores antiguos, la numeración corría a cargo de un sistema mecánico. Las cifras estaban marcadas en el contorno de un disco; la rotación de este disco, en la carrera de retorno, arrastraba una leva que provocaba un número de interrupciones de la corriente en línea proporcional al número marcado. Como este número estaba comprendido entre 0 y 9, se calificaba este sistema de *numeración decimal*. Desde hace unos años, los teléfonos utilizan un sistema llamado de *frecuencias vocales*: cada tecla o botón corresponde a una combinación de dos frecuencias características. Por ejemplo, al pulsar el botón del 7 se envía al conmutador una señal eléctrica que es la superposición de dos señales de frecuencias iguales a 852 Hz y 1.209 Hz. Dejando aparte su rapidez, este sistema presenta varias ventajas: permite añadir más teclas, por ejemplo, * y #, lo cual abre posibilidades de mando a distancia en el conmutador; también permite, una vez establecida la comunicación, enviar al receptor llamado informaciones en forma de código de cifras. Dentro del conmutador, el número marcado llega a un órgano llamado *registrador*, o receptor de numeración, que lo memoriza e interroga a otro órgano llamado *traductor*. Éste contiene las informaciones de correspondencia entre el número de anuario y el número físico de la línea del interlocutor e informaciones sobre los circuitos que salen del conmutador a través de los cuales debe circular la comunicación. Estas informaciones son transmitidas a los órganos del conmutador que establecen la comunicación. Cuando ésta queda establecida, el registrador y el traductor quedan en libertad para recibir otros números.

¿Cuál es el cometido de las «centrales telefónicas»?

En cuanto el número de abonados conectados por una red supera un umbral muy pequeño, ya no es posible conectarlos todos de dos en dos; de lo contrario, se cubriría el planeta con un grueso colchón de hilos de conexión. Los aparatos se conectan a unos conmutadores que concentran las llamadas —de donde proviene su apelativo común de «centrales telefónicas»— y luego los orientan hacia los destinatarios de las llamadas.

Antaño, la conexión entre las líneas del emisor y del receptor corría a cargo de unas *telefonistas*, que eran, para Marcel Proust, «vírgenes vigilantes», «ángeles de la guarda en las tinieblas vertiginosas, cuyas puertas guardaban celosamente».[1] Desde entonces, las tinieblas siguen siendo vertiginosas, los poetas se han hecho más discretos y los conmutadores se han automatizado. Esta automatización ha seguido varias etapas: la técnica basada en conexiones electromecánicas se ha ido enriqueciendo con mandos electrónicos. El aspecto de continuidad de este proceso fue el mantenimiento de un contacto físico directo: la conexión se operaba mediante puntos de cruce de contactos metálicos. Este tipo de conmutación se llamaba *espacial*, porque realizaba la comunicación por medio de una continuidad física de la señal en el espacio geográfico.

A partir de los años 1980, la red telefónica se ha ido digitalizando, lo cual ha llevado a un nuevo tipo de conmutación, llamada *temporal*. La digitalización consiste en transformar la señal continua *(analógica)* en una sucesión discreta de valores codificables en forma de 0 y 1. Así, los conmutadores temporales ya no intercambian la señal eléctrica creada por la voz, sino una muestra tomada 8.000 veces por segundo de los valores de dicha señal. No se tiene en cuenta el valor exacto de la señal, sólo su nivel dentro de una serie de ocho segmentos que van de la amplitud nula a la amplitud máxima, descompuestos a su vez en dieciséis intervalos. Este valor se codifica mediante nueve cifras binarias (tres designan el segmento y cuatro el intervalo) a las que se añade una octava cifra que indica el signo de la tensión (1 para la tensión positiva y 0 para la negativa). Este tipo de codificación permite diferenciar 256 niveles de voz. Se llama Modulación por Impulso y Codificación (MIC).



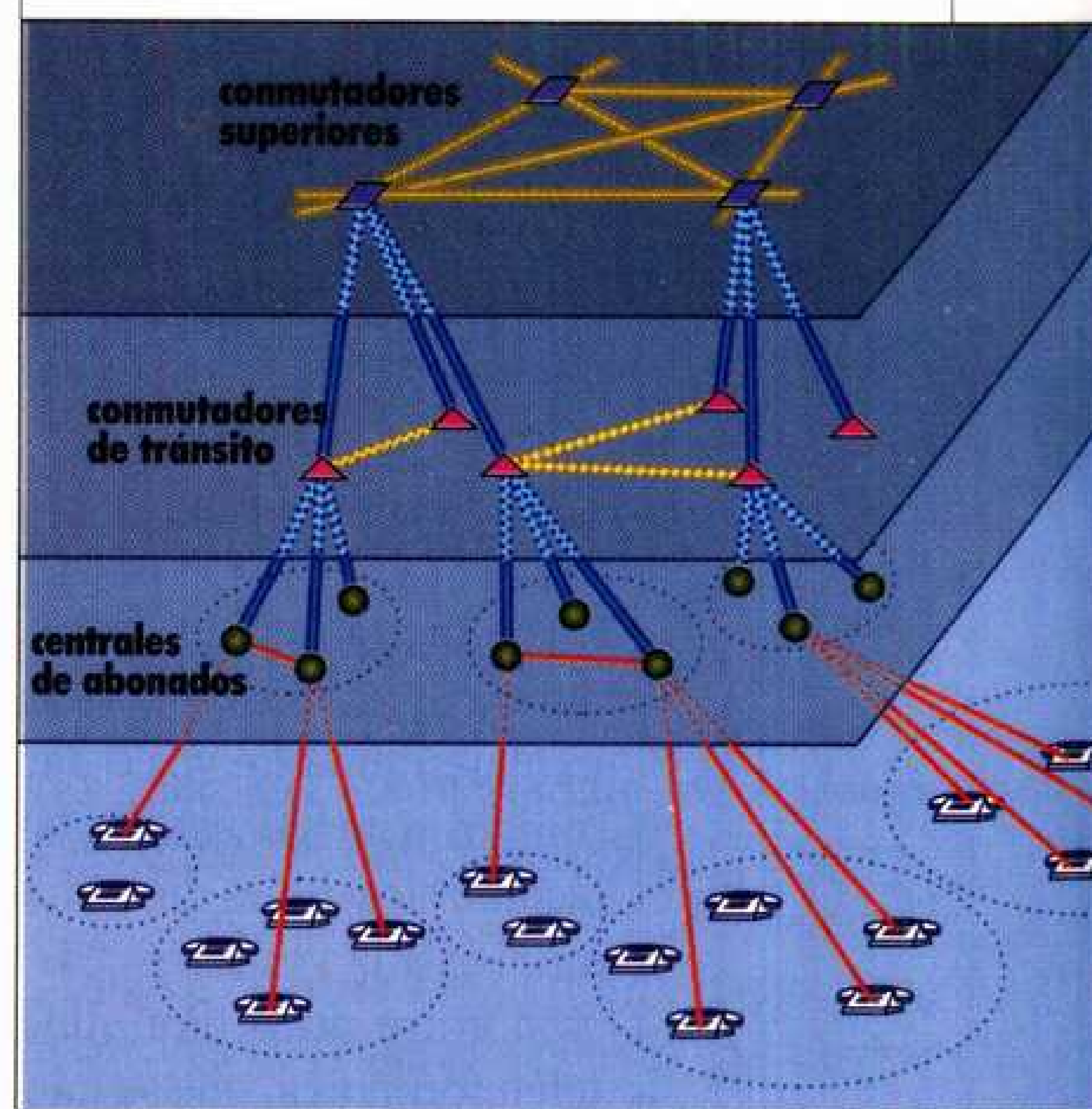
(1) M. Proust, *En busca del tiempo perdido 3. El mundo de guermantes*, Alianza Editorial, Madrid, 1991

¿Cómo se establece una comunicación entre dos puntos del globo?

Al entrar en el conmutador, la línea de un abonado pasa a un dispositivo formado por un circuito eléctrico llamado circuito de línea. Se trata de un circuito electrónico que vigila el estado de la línea —abierto o cerrado, según que el receptor del abonado esté colgado o bien descolgado—, la alimenta en corriente eléctrica, inyecta la corriente de la señal acústica y se encarga de hacer pasar el enlace bidireccional del abonado (de dos hilos de cobre) a dos enlaces monodireccionales que constan de dos hilos para el enlace de ida y otros dos para el de vuelta. Detrás del circuito de línea se encuentra el codificador-descodificador que digitaliza la señal enviada por el abonado en el circuito de ida y desdigitaliza la señal que se le envía en el circuito de vuelta. El circuito de línea y el codificador llevan a cabo las funciones de BORSCHT (*Battery, Overvoltage, Ringing, Supervision, Coding, Hybrid, Test*). Más allá del BORSCHT, la voz se presenta en forma de un flujo de 8.000 octetos por segundo (un octeto cada 125 microsegundos), lo que equivale a 64 kilobits por segundo (64 kb/s). Éste es el flujo básico de los enlaces telefónicos digitales.

En la entrada de los conmutadores temporales está situada una unidad en la cual esta señal es «multiplexada» con otras en un enlace de mayor capacidad: 2.048 kb/s. Cada muestra de voz, codificada en un octeto, ocupa 3,9 µs; cabe, pues, insertar 32 intervalos de esta duración en los 125 µs que separan dos muestras. El multiplexado equivale, por tanto, a colocar en un mismo tramo de 32 vías treinta conversaciones simultáneas y dos vías de sincronización y señalización. El conmutador comprende circuitos de línea por donde entran tramas multiplexadas y circuitos de línea por donde salen tramas que viajan hacia otros conmutadores. Las vías de las tramas entrantes son separadas y permutadas en una memoria de tránsito para constituir tramas que van en distintas direcciones. Cabe representar este mecanismo comparando el conmutador con una estación clasificadora y las tramas con trenes compuestos por varios vagones, cada uno de los cuales representa una muestra de la voz de un abonado en conversación. Cada tren entrante es desmontado y los vagones son redistribuidos en trenes que salen de la estación con diferentes destinos.

Lo mismo que los abonados no pueden conectarse todos dos a dos, tampoco pueden los conmutadores estar todos unidos entre sí. La red está jerarquizada; algunos conmutadores, llamados de tránsito, se comportan cón los conmutadores de una región (llamados centrales de abonados) igual que la central con los abonados de un sector. Dada la extensión mundial que ha adquirido la red telefónica, este doble nivel ya no basta. Hay, pues, unas centrales de tercer grado en la cima de la jerarquía. Los conmutadores están unidos por cables (cada vez más a menudo de fibra óptica) o por enlaces aéreos (hertzianos y satelitarios) que se diferencian de las líneas de abonados por su capacidad. Las distintas señales son multiplexadas de acuerdo con el esquema anterior, pero combinando enlaces de 2 Mb/s para alcanzar flujos más elevados de hasta 140 Mb/s. La fibra óptica permite superar ampliamente estas cifras: por ejemplo, el cable submarino puesto en servicio en octubre de 1995, entre Francia, Gran Bretaña y Estados Unidos, comprende varios pares de fibras de 5 gigabits/s.



¿En qué se diferencia el radioteléfono del teléfono clásico?

El radioteléfono es un enlace sin hilos en el que la información la transmiten ondas radioeléctricas. El teléfono móvil va provisto de un pequeño emisor-receptor encargado del enlace por radio con una estación emisora-receptora fija conectada a la red telefónica clásica. Durante mucho tiempo, el volumen de los equipos necesarios y la exhaustiva ocupación del espectro hertziano reservaron la radiotelefonía a usos muy especializados, como los barcos. Pero desde hace unos diez años la normalización, la invención del teléfono *celular* y la digitalización de las señales transmitidas han permitido un desarrollo muy rápido del radioteléfono.



Al establecerse un enlace radiotelefónico, las frecuencias de radio que utiliza dejan de estar disponibles en la zona, lo cual limita el número de enlaces posibles. La solución a este problema ha consistido en idear un método para reutilizar las mismas frecuencias. Dicho método estriba en colocar emisores de poca potencia en unas zonas mucho más pequeñas que antes llamadas *células*. Las frecuencias de radio se dividen entre los relés de tal forma que a células vecinas les correspondan siempre frecuencias diferentes, las cuales son reutilizadas en otras células situadas a una distancia suficiente para que no haya perturbaciones. Los relés están unido a centros de conmutación de los servicios móviles (CSM), encargados de la gestión de las llamadas y sobre todo de la transferencia de comunicaciones entre células por reasignación de frecuencias. Los CSM están conectados a la red telefónica estándar a fin de establecer comunicaciones entre teléfonos móviles y fijos.

Las prestaciones del teléfono celular han mejorado con la digitalización de la señal. En Europa, la norma principal es el sistema GSM (*Global system for mobile communications*), que funciona en la banda de los 900 MHz (890-915 en la emisión y 935-960 en la recepción) y codifica la voz según un flujo de 13,5 kb/s. Una norma derivada de GSM y más reciente, la DCS 1.800, utiliza la banda de 1.800 MHz, que permite que la comunicación penetre en el interior de los edificios, pero hace precisa la existencia de células más pequeñas (radio máximo de 20 km en vez de 35 km).

¿Podría el teléfono móvil sustituir al usual?



No está excluido. El radioteléfono está experimentando un aumento fulgurante de usuarios. La instalación de constelaciones de satélites (proyectos Iridium y Globalstar) permitirá una comunicación mundial facilitada por móviles. En muchos países en vías de desarrollo, las autoridades favorecen la extensión del radioteléfono, pues exige unas estructuras de base mucho más ligeras (y por lo tanto más baratas) que la red telefónica clásica. Sin embargo, también en los países industrializados, la conexión entre abonados fijos por medio de radioondas suscita un renovado interés a causa de la baja de costes de dichos sistemas: en Gran Bretaña, un nuevo operador, Ionica, acaba de abrir un servicio de base de esta clase; en Francia, la Générale des Eaux (Cegetel) y France Télécom se preparan a experimentarlo. No obstante, la radiotelefonía suele presentar una calidad inferior a la telefonía por cable. Además, los interrogantes suscitados por la acción de las ondas electromagnéticas sobre la salud todavía no están aclarados.

Por último, las posibilidades de transferencia de datos por fibra óptica van a dar un nuevo impulso a las redes clásicas. En realidad, nos dirigimos hacia una complementariedad de redes, pues los usuarios recurren indiferentemente a uno u otro tipo de terminal según sus necesidades. Esta evolución debería ser facilitada por la atribución del número de identificación a la persona y no a la terminal.

¿De qué modo afecta Internet al teléfono?

La digitalización de las señales permite, con el mismo material, transmitir indiferentemente voz o datos (incluidos sonidos e imágenes). En las redes de telecomunicaciones digitalizadas, la transmisión de la voz no es más que una función entre otras. Por ello, las redes de teleinformática, que se han desarrollado independientemente de las redes telefónicas, están entrando en competencia con éstas. Internet, federación descentralizada de redes informáticas unidas por un lenguaje común (el protocolo de comunicación TCP-IP, *Transport Control Protocol - Internet Protocol)*, está en pleno auge mundial. Internet suplanta las redes anteriores de transmisión de datos y amenaza ahora a las compañías telefónicas, pues la comunicación de la voz es posible en ella. Nos dirigimos también aquí hacia una complementariedad de las soluciones (una red mundial única que ofrece a los seres humanos una gran diversidad de modos de comunicación a distancia); la dificultad de las elecciones a realizar refleja la oposición entre dos culturas técnicas, la de los informáticos y la de los ingenieros de telecomunicaciones. Uno de los retos principales tiene que ver con la adopción de una nueva norma de utilización, ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), que consiste en un modo de conmutación derivado de la conmutación por paquetes utilizada en las redes de transmisión de datos. En ATM, las informaciones están organizadas en células de 48 octetos útiles y 5 octetos de datos de direccionamiento. ATM prevé reservar, entre los dos puntos de una comunicación y durante el tiempo de conexión, un camino estable y un determinado flujo, lo cual garantiza la continuidad. Se trata de una cualidad esencial para la telefonía y la televisión que no satisface fácilmente Internet, ya que en la comunicación clásica por paquetes la información está distribuida en grupos de paquetes que van por caminos diferentes imperfectamente sincronizados. ATM hace posible que la misma red transporte tanto informaciones poco voluminosas (instrucciones de teledespertador, por ejemplo), como informaciones muy pesadas (imágenes vídeo) y facilita la comunicación de datos y palabras por la misma red. Queda aún por convencer a muchos internautas reticentes (aunque no todos lo son) de que ésta es la mejor solución.



Nueva marcación telefónica

El viernes 18 de octubre de 1996, Francia adoptó un nuevo sistema de numeración telefónica que implicaba pasar a nueve dígitos todos los números de teléfono del país, excepto París y su región, que ya tenía nueve cifras.

La nueva numeración, desarrollada por France Télécom, recogía las recomendaciones de armonización procedentes de las directivas europeas y las sugerencias internacionales. Así se consigue, además de avanzar hacia la ansiada normalización entre países, tener una reserva de números para satisfacer la demanda de más líneas por muchos años.

En definitiva, en lo que nos afecta, han variado las llamadas de Francia a España a través del servicio España Directo, el nuevo número es 08 00 99 00 34. Y en las llamadas a las diferentes regiones francesas (excepto París y su región, que ya contaban con nueve números) se debe añadir un dígito ya establecido para cada una de las regiones (véase cuadro adjunto).

En cualquier caso, Telefónica, a través de su servicio internacional (025), ofrece toda la información necesaria para guiar al usuario.

Al número actual que empiece por:	Anteponer:	Al número actual que empiece por:	Anteponer:	Al número actual que empiece por:	Anteponer:	Al número actual que empiece por:	Anteponer:
20	3	41	2	61	5	81	3
21	3	42	4	62	5	82	3
22	3	43	2	63	5	83	3
23	3	44	3	65	5	84	3
24	3	45	5	66	4	85	3
25	3	46	5	67	4	86	3
26	3	47	2	68	4	87	3
27	3	48	2	69	4	88	3
28	3	49	5	70	4	89	3
29	3	50	4	71	4	90	4
31	2	51	2	72	4	91	4
32	2	53	5	73	4	92	4
33	2	54	2	74	4	93	4
34	5	55	5	75	4	94	4
35	2	56	5	76	4	95	4
37	2	57	5	77	4	96	2
38	2	58	5	78	4	97	2
39	2	59	5	79	4	98	2
40	2	60	3	80	3	99	2

En España también

Hay que esperar al 8 de febrero de 1997. Entonces Zaragoza será la primera provincia del Estado español que incorporará su prefijo provincial, en este caso el 976, al número habitual del abonado, sumando nueve cifras.

En los próximos años se irá extendiendo la nueva marcación al resto de las provincias españolas, a tenor del calendario que proponga el Ministerio de Fomento. Zaragoza ha sigo elegida fundamentalmente para evitar al usuario, y a todos, las molestias de dos cambios seguidos en la numeración, ya que esta provincia iba a pasar en breve a siete cifras desde las seis actuales, y luego hubiera tenido que volver a cambiar para adaptarse a los nueve dígitos.

El nuevo Plan de Numeración, así bautizado, antepone el prefijo provincial 976 a las seis cifras actuales tanto en las llamadas metropolitanas como en las provinciales e internacionales con destino a Zaragoza. Las llamadas interprovinciales y las internacionales realizadas desde Zaragoza no varían. Tampoco las tarifas, insisten en Telefónica.

En las llamadas efectuadas desde el extranjero con destino a Zaragoza habrá que marcar el código de acceso internacional del país de origen y a continuación el prefijo internacional de España (34) seguido del prefijo provincial 976 y el número del abonado.

Pero el 8 de febrero de 1997 no será el gran día del cambio para Zaragoza. La adaptación a la nueva numeración de nueve cifras se hará en tres etapas. Una medida de prudencia pensada para evitar un presumible colapso telefónico y perjuicios al usuario. Usuario, al parecer, ya de por sí bastante crítico ante el hecho de tener que marcar más números para obtener el mismo resultado. Pero cumplir con los requerimientos de la Unión Europea se impone, y a marcar nueve cifras toca.

Tres etapas

Entre la fecha elegida para el cambio, 8 de febrero, y el 8 de marzo, las llamadas metropolitanas y provinciales deberán hacerse marcando nueve cifras, aunque las que se realicen marcando las seis cifras de siempre también llegarán a su destino, lo que no deja de ser un alivio. Esta primera etapa es el Periodo Paralelo.

El Periodo de Locuciones se extiende desde el 8 de marzo al 8 de junio de 1997. Durante estos tres meses las llamadas metropolitanas y provinciales realizadas sin marcar el prefijo 976 ya no llegarán a su destino. Sin embargo, un sistema informático, por medio de una locución, recordará a los usuarios la necesidad de marcar las nueve cifras.

A partir del 8 de junio dejarán de oírse las locuciones y habrá que marcar ineludiblemente y sin recordatorio alguno las nueve cifras si se pretende establecer la anhelada comunicación. Es la tercera etapa y última.

La utilización de nueve dígitos en Zaragoza, en España, responde aquí, como en Francia y otros países, a la necesidad de armonizar internacionalmente la forma de marcación y multiplicar la capacidad actual de las redes.

En una nota informativa, facilitada por Telefónica, además de aclarar los términos de la nueva marcación se especifica: «Este cambio no afectará a la mayor parte de los terminales, aunque algunos podrían precisar de ciertas actuaciones por parte de los usuarios (reprogramación, memorias, desvíos, etc.). En este sentido, Telefónica proporcionará la información adecuada a las partes afectadas según señala la Resolución de la Delegación del Gobierno en Telefónica, del 28 de marzo de 1996, en la que afirma que "las modificaciones que se hubiesen de realizar en los equipos terminales serán a cargo de sus propietarios". Asimismo, para aquellos terminales que por sus características necesitasen de modificaciones como teléfonos de uso público, terminales RDSI, centralitas o Ibercom, Telefónica realizará acciones comerciales específicas. Para mayor información, Telefónica ha habilitado un teléfono gratuito, el 900 123 976, que atenderá cualquier consulta sobre el cambio de numeración». ■

Para más información

- François du Castel, *Les Télécommunications*, SEPEG, 1993.
- Michel Feneyrol, *Télécommunication: réalités et virtualités*, Masson, 1996.
- René Wallstein, *Le téléphone*, «Que sais-je?, nº 251, PUF, 1996.



LUIS G. PARERAS

¿QUIERE CONSEGUIR CONSEJO MÉDICO EN INTERNET?

Masson, Madrid, 1996 (2.875 ptas.)

Después del gran éxito de su libro *Internet y medicina*, para profesionales de la medicina, el Dr. Pareras presenta ahora la otra cara de la moneda, la perspectiva del paciente en la búsqueda del consejo médico en Internet.

Es la guía más completa para explorar todas las posibilidades que Internet ofrece para buscar consejo médico.

Permite acceder a los foros de discusión médicos en Internet para estar permanentemente actualizado respecto a cualquier enfermedad, aprovechando inmediatamente qualquier avence que surja.

Ofrece la posibilidad de poder relacionarse con otros pacientes con problemas similares al suyo y compartir con ellos las experiencias.

Facilita la obtención de respuestas concretas a través de *NEWSGROUPS* médicos especializados.

Posee las mejores bases de datos médicas de Internet para obtener información precisa acerca de cualquier enfermedad, incluyendo útiles para la gran mayoría de especialidades médicas. ■

LUIS G. PARERAS

INTERNET Y MEDICINA

Masson, Madrid, 1996 (7.900 ptas.)

Es una obra que permite sacar partido a todas las posibilidades que le brinda la red. Así, proporciona ideas innovadoras acerca de las aplicaciones presentes y futuras de Internet en el mundo de la sanidad.

Ofrece la posibilidad de consultar casos clínicos a través de Internet.

Se pueden establecer protocolos multicéntricos.

Facilita la consulta de bases de datos e imágenes.

Permite conocer las claves para la localización electrónica de otros colegas.

Se pueden realizar sesiones clínicas multicéntricas con reuniones virtuales a distancia.

Incluye recursos específicos para neurociencias, medicina interna, cirugía, oncología, AIDS, imagen, genética, cardiología, pediatría, anatomía patológica, traumatología, ginecología, anestesiología y UVI, oftalmología, ORL. ■

RAÚL TREJO DELARBRE

LA NUEVA ALFOMBRA MÁGICA. USOS Y MITOS DE INTERNET, LA RED DE REDES

Los libros de Fundesco, Madrid, 1996 (2.950 ptas.)

Internet —la red de redes— es ya una realidad mítica que a nadie deja indiferente. Los iniciados la usan en progresión geométrica y el número de adeptos crece como si de la religión de la nueva era se tratase. No obstante, es desconocida aún para gran parte de la Humanidad, aunque haya oído hablar de ella y de sus ilimitadas y proteicas posibilidades.

La nueva alfombra mágica, Premio Fundesco de Ensayo, trata de contestar a la pregunta «¿Qué es Internet?» de manera amena y rigurosa en muy diversos planos: desde el desenvolvimiento de la sociedad de la información en los países en desarrollo, hasta el papel del Estado en la evolución de estas nuevas tecnologías y la situación en América Latina y Europa.

Raúl Trejo propone una especie de guía para *cibernautas* con el fin de ilustrar a los lectores sobre cómo se relacionan la política, la economía y la cultura a través de este nuevo *hipermedio.* El libro ofrece un volumen muy considerable de información y datos concretos, pero también entra en temas de gran actualidad como el ocio electrónico, el entorno de la enseñanza, los servicios financieros y la prensa, todo ello desde la óptica de la red.

Es un ensayo sólido y bien escrito, que destaca por la originalidad de su planteamiento, en el que el autor combina un afán generalista y divulgador con una penetrante línea de reflexión sobre el horizonte de la llamada sociedad de la información sustentada en las redes inteligentes. La obra constituye, sin duda, una aportación fundamental para quien quiera introducirse en el mundo de Internet sin desconocer su contexto y sus posibles impactos. ■

JUAN CARLOS PÉREZ JIMÉNEZ

IMAGO MUNDI. LA CULTURA AUDIOVISUAL

Los libros de Fundesco, Madrid, 1996 (3.600 ptas.)

El culto al cuerpo, el éxito de las supermodelos, la invasión artística o la pornografía son manifestaciones de la actual dictadura de la imagen, que encuentra en la televisión y el cine sus aliados naturales. Nos hemos convertido en adictos a las imágenes y somos incapaces de renunciar a ellas. Pero, ¿cuál es el precio de esta adicción?

Imago Mundi. La cultura audiovisual, obra recomendada para su publicación por el Jurado del Premio Fundesco de Ensayo, profundiza en el poder que los medios de comunicación tienen para influir en nuestras vidas, un poder que, a juicio del autor, utilizarán siempre que puedan, aunque sea para nuestro bien.

Desde una posición privilegiada, como investigador y profesional de la televisión, Juan Carlos Pérez Jiménez apuesta por un mayor conocimiento de las estrategias de la imagen que nos permita defendernos de su acoso y disfrutar de sus placeres.

¿Estamos ante la dictadura de la mayoría? ¿Hay que rendirse ante la facilidad de los públicos para identificarse con lo peor de lo que ofrece la cultura audiovisual? ¿Nos sacrifica la industria? Todas estas preguntas y otras muchas surgen de la lectura de esta obra, que cumple así la labor primordial de todo mensaje estructurado: poner en movimiento, agitar dudas y nublar certezas.

Este ensayo bien documentado, profundo y atractivo, que aúna el rigor conceptual con la claridad y la amenidad, constituye sin duda una brújula adecuada para calibrar el rumbo que llevan las tendencias de una sociedad que deberá aprender a integrar sus propias contradicciones. ■

JUAN CARLOS PÉREZ JIMÉNEZ

LA LENGUA ESPAÑOLA Y LAS AUTOPISTAS DE LA INFORMACIÓN. INFORME SOBRE EL ESPAÑOL EN EL ENTORNO MULTIMEDIA

Los libros de Fundesco, Madrid, 1996 (3.950 ptas.)

El objetivo principal de este informe es señalar las oportunidades y los riesgos del español en el nuevo entorno de la comunicación multimedia. El elemento fundamental de este objetivo es el conocimiento de la lengua española en su dimensión cuantitativa, como oportunidades de negocio y como líneas generales de actuación posible de un gobierno interesado en desarrollar esas posibilidades económicas. El estudio, por tanto, intentará ofrecer resultados cuantificables sin perder de vista que el español es lengua internacional y multinacional, lo que supone la necesidad de tener en cuenta a los países hispanohablantes, tanto para determinar las posibles y deseables acciones conjuntas, como para estudiar los efectos de la posible y natural concurrencia de productos en el mismo mercado.

En este sentido, se ha de indicar que el desarrollo de los países hispanohablantes exige un afianzamiento de su capacidad técnica y científica en el que el papel de la lengua es esencial. Estos países suponen, con la excepción de España, una continuidad geolingüística inigualada. Aunque a finales del siglo XX las diferencias en infraestructura y las esperanzas de desarrollo son muy distintas en unos y otros países, es innegable que esta contigüidad de lengua y cultura, que penetra hasta muy al norte de los Estados Unidos, es una riqueza que sólo se afianzará si la lengua española conserva su capacidad de adaptación a las nuevas circunstancias de la industria y los servicios. Su informatización es una necesidad insoslayable.

En lo que concierne a España, la situación, aunque mejor desde el punto de vista de infraestructuras, es mucho más delicada por el entorno geolingüístico europeo.

No se ha de olvidar que la Unión Europea es una realidad que se va construyendo en la lucha inevitable con dificultades que la retrasan y que requiere nuevas dimensiones de pensamiento y trabajo, precisamente para superar esas dificultades y retrasos. Las exigencias de formación científica y técnica que pide este nuevo ambiente de convivencia son difíciles de precisar, porque nunca hasta ahora se han ofrecido perspectivas tan amplias; pero no es difícil suponer que la competencia va a ser tan abierta y difícil, al mismo tiempo, como los nuevos mercados. Las dimensiones lingüísticas de la nueva comunidad serán también amplísimas.

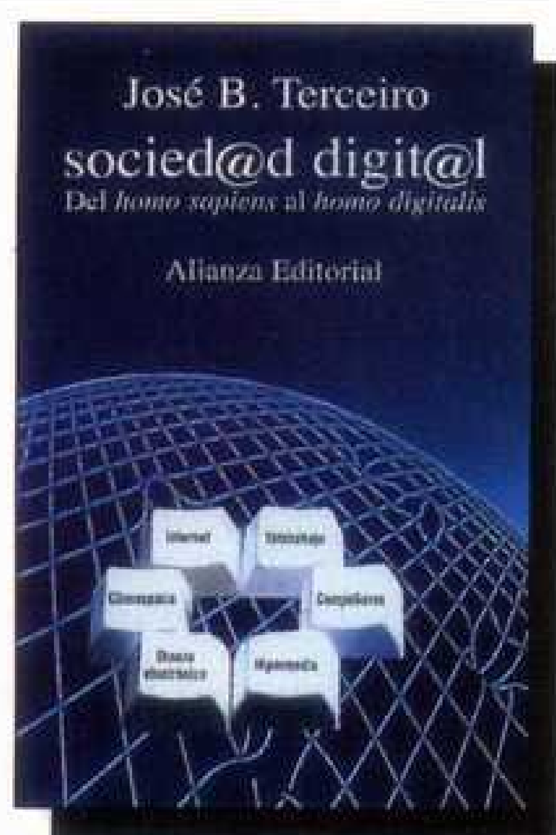
Si España tiene que estar preparada desde el punto de vista industrial y laboral para participar dignamente en esta empresa, no es menos cierto que también se requiere una preparación lingüística específica para hacer del español una lengua apta para ese nuevo mundo científico, tecnológico e industrial. Por tanto, interesa aquí, en concreto, la actuación sobre la lengua española a partir de la perspectiva más moderna, en la que se trata de conjugar el aspecto tecnológico con el cultural. La conexión de tecnología y cultura supone unir cada vez más estrechamente las tecnologías de la información y de la comunicación con la sociedad, la industria y los servicios, y fomentar su difusión a los conjuntos de profesionales que son hoy protagonistas activos del cambio tecnológico.

Las tecnologías de la información remiten en última instancia a la lengua. Esta sucesión de intereses es la misma que ha hecho surgir en el horizonte tecnológico otras expectativas que se basan en la importancia que la lengua cobra día a día como objeto económico e industrial, cuyo paradigma son las llamadas industrias del idioma, fruto de la aplicación de las tecnologías de la información a la lengua y que abarcan desde los tratamientos de texto a la lexicografía, pasando por la traducción por ordenador y la síntesis y reconocimiento del habla. Todo ello supone también una dimensión económica de singular importancia, en un momento en el que el sector terciario es el motivador principal del progreso económico.

Nos preocupa el porvenir del español como lengua que ha de adecuarse a las nuevas circunstancias tecnológicas imperantes. Para hacer posible una valoración de la actual situación de nuestra lengua en el nuevo contexto comunicativo, se ha diseñado una estructura expositiva que pretende incluir los aspectos más relevantes de los componentes implicados: la lengua y la tecnología.

Este trabajo pretende también servir de guía para abordar el porvenir del español como lengua del próximo siglo y bosquejar una serie de actuaciones que implican a la industria, los medios y los sectores educativos y que parte de la consideración del idioma como un bien industrial objetivo y como un activo fundamental en la nueva sociedad de la información.

El último fin del informe es ayudar a que el español, lengua internacional, se sitúe en unas coordenadas que le permitan no sólo sobrevivir, lo cual tiene ya garantizado por razones de implantación, demografía y empuje cultural, sino también fortalecer su posición y ocupar el rango que le corresponde en un mundo altamente tecnificado. ■



JOSÉ B. TERCEIRO
SOCIED@D DIGIT@L. DEL *HOMO SAPIENS* AL *HOMO DIGITALIS*
Alianza Editorial, S.A., Madrid, 1996 (2.500 Ptas.)

Este libro intenta dar un repaso a las grandes tendencias de la tecnología de la información respecto a las que existe un alto y solvente grado de consenso y una base tecnológica inmediatamente disponible. Por tanto, he pasado por alto cualquier referencia a pronósticos o reflexiones que no cumplan las condiciones citadas.

El autor ha seleccionado lo que le ha parecido más relevante de la masiva literatura disponible y, en cualquier caso, en la selección efectuada, predomina la más reciente, como pone de manifiesto la lista de bibliografía utilizada, de la que más de las dos terceras partes ha sido publicada en 1995. Ha intentado construir un ensayo estructural en el sentido de que sea global —comprenda lo más posible de su entorno— y que explique los orígenes genéticos subyacentes en la revolución hipermedia —que la explican— y cuáles serán los efectos en la sociedad del futuro.

Un acercamiento solvente a las posibilidades de la nueva sociedad de la información requiere un repaso elemental de sus bases tecnológicas. Hoy ya es habitual que cualquier persona de cultura media sepa qué es la *renta nacional* o el PIB.

Sin embargo, no todas ellas saben qué es la *banda ancha* o un CD-ROM, cuando van a estar más cerca de sus vidas cotidianas que las macromagnitudes económicas, incorporadas, sin embargo, a su lenguaje ordinario. Para intentar familiarizarnos con la terminología de la nueva tecnología y la nueva cultura que se nos viene encima incluye, al comienzo de este trabajo, un vocabulario digital, en contra de la costumbre habitual de relegar los glosarios al final.

Entramos en un nuevo mundo con un lenguaje propio: el digital. De ahí la necesidad previa de familiarizarnos con el mismo, ya que la cultura hipermedia y sus conceptos técnicos requieren pasar de una mentalidad tecno-rústica a una mentalidad tecnocultivada.

Han pasado diez años desde unas reflexiones del autor sobre el desafío de la revolución informativa en las que afirmaba que los avances exponenciales en la tecnología de comunicaciones y el cambio en el modelo de demanda de los consumidores cuestionaban el marco institucional del futuro. Desde entonces hemos contemplado en todo el mundo la generalización del fin del monopolio público y el surgimiento de nuevas posibilidades que yo ya dejaba apuntadas en 1985.

Una década después estamos en el umbral de una nueva era de transmudación de lo analógico a lo digital y de los monomedia a la hipermedia interactiva, marcado por las omnipresentes y equívocas *autopistas de la información*, aunque llenas de sentido para el vicepresidente Al Gore, porque su padre impulsó la introducción del sistema de autopistas interestatales aumentando, de hecho, el ancho de banda de las viejas carreteras americanas.

«Debo confesar al lector —dice el autor— que no me gusta seguir las modas. Prefiero adelantarme a ellas. No me gusta lo de las *autopistas de la información*. Los americanos ya hablan, espectacularmente, de la *Information Superhighway*. No me gusta porque el término está de moda y porque además —al rememorar una vía principal o troncal— es equívoco, confunde y distorsiona la esencial naturaleza de esta revolución tecnológica, que consiste, precisamente, en sus posibilidades *no troncales* de comunicación, en forma de red, de todos con todos, al margen de una vía principal. Y esto con independencia de que, desde el punto de vista técnico, una única gran vía de comunicaciones, en caso de avería, colapsaría todo el sistema, lo que no sucedería con una red ya que, de averiarse un sector, podría seguir funcionando el resto.»

Las mal llamadas *autopistas de la información* son cualquier cosa menos autopistas que, por definición, son estáticas y planificadas (Gibson, 1995, 47). El término, por lo tanto, debería limitarse al soporte físico, a las redes de banda ancha, que es el cauce por el que ha de discurrir el fenómeno que nos ocupa.

Cabría hablar con más propiedad y rigor de *infopistas*, como ha propuesto Gustavo Matías, sobre todo con mentalidad de gallego, ya que en mi tierra una *pista* es un camino amplio, normalmente abierto por los servicios de repoblación forestal —y sólo en ocasiones asfaltado— que llega a los más recónditos lugares del monte. Es más correcto pensar en términos de *ciberespacio*, un ámbito donde además de los cables también cuentan los satélites, los sistemas operativos, los protocolos, el vídeo bajo demanda, los servicios de información en línea y muchas más cosas.

En definitiva, una gran red digital donde el *bit* sustituye al átomo y donde la información, en forma de imágenes, texto, gráficos y sonido, todos ellos combinados, se nos presentará bajo un nuevo aspecto. ■



BEATRIZ RUIZ GONZÁLEZ
CATÁLOGO DE SERVICIOS IBERTEX
2ª edición, Los libros de Fuinca, Fundesco, Madrid, 1995 (3.600 ptas.)

Dentro de las actividades que desarrolla la Fundación Fuinca, todas ellas con un marcado interés social en cuanto que contribuyen al fomento del sector de los servicios de información electrónica en España, cabe destacar su actividad de observatorio, en la que se centraliza la realización de sus ya clásicos directorios y censos, ampliamente solicitados por el sector.

Esta segunda edición del catálogo de Servicios Ibertex, que constituye el número 4 de la colección «Los libros de Fuinca» de Fundesco, incluye información de 558 servicios videotex, con más de 4.000 aplicaciones, accesibles a través del servicio público Ibertex de Telefónica, ofreciendo por cada uno de ellos una amplia descripción de su contenido temático, datos referentes al proveedor de información y centro servidor, clasificación del servicio, nivel de acceso, número de ruta Ibertex y mnemónico, etcétera.

Puede acceder cualquier usuario que disponga de un terminal videotex o un ordenador personal con el módem adecuado, mediante una simple llamada telefónica, conectando el ordenador o terminal a la línea telefónica de igual forma a como se conecta el teléfono convencional.

Respecto a la anterior edición, la oferta de servicios Ibertex que se incluye en este Catálogo se ha ampliado considerablemente, ya que de los 390 servicios de 1993 se ha pasado a 558 en 1994, lo que supone un incremento del 43 %.

En esta edición se incluye asimismo un capítulo en el que se analiza el mercado desde el punto de vista de la oferta y de la demanda, ofreciendo una serie de cifras significativas que ayudan a disponer de un mayor conocimiento de la situación del sector en nuestro país.

Este *Catálogo de Servicios Ibertex* constituye una valiosa aportación a la divulgación del videotex en España y representa una herramienta indispensable para el usuario del servicio Ibertex, al cubrir su necesidad de saber qué información existe, dónde encontrarla y cómo acceder a ella, esto es, información sobre la información. ■

PUBLICACIONES RECIBIDAS

● **QUARK, Nº 5**
Ciencia, medicina, comunicación y cultura, «Ciencia e ideología, la cultura de la biología», Ángel Pestaña y Sacramento Martí, edita Universidad Pompeu Fabra, Barcelona, 1996 (800 ptas.).

● **EL MÉDICO Nº 61**
«Epilepsia» bibliografía comentada, edita Saned, Madrid, 25-31 de octubre, 1996 (350 ptas.).

● **ECOLOGÍA Nº 27**
«El ciervo ibérico», Jorge Sierra, edita Grupo Maj, Madrid, octubre, 1996 (400 ptas.).

● **CAUCE 2000 Nº 76**
«El túnel de Somport, enlace directo», Rafael López Guarga y F. Javier Lanz Muniain, julio-agosto, 1996 (750 ptas.).

● **NATURE Nº 6.604**
«Intelligent drug design» Supplement, vol. 384, edita Macmillan Magazines Ltd., Londres, 7 de noviembre, 1996 (£ 4,00).

● **FUNDESCO Nº 181**
«¿Qué formación ante las nuevas tecnologías?», Boletín de la Fundación Social de las Comunicaciones, Madrid, 1996 (gratuita).

● **ARBOR Nº 608**
«Variables psicosociales relacionadas con la participación en un "screening" de cáncer de mama», Lourdes Losatao, Paloma Chorot, Bonifacio Sandín y Fernando Lacabe, edita CSIC, Madrid, agosto, 1996 (1.000 ptas.).

● **UNIVERSO Nº 19**
«Gran telescopio de Canarias», Josep Maria Fuertes i Armengol, edita Antares, Barcelona, noviembre, 1996 (750 ptas.).

● **ASTRONOMÍA Nº 132**
«Planetas en otros soles», Patricio Díaz Pazos, Equipo Sirius, Madrid, noviembre, 1996 (485 ptas.).

● **LA NATURALEZA DEL ESPACIO Y EL TIEMPO**
De Stephen Hawking y Roger Penrose, Colección dirigida por José Manuel Sánchez Ron, Editorial Debate, Madrid, 1996 (1.900 ptas.).

● **POLÍTICA CIENTÍFICA Nº 45**
«Las migraciones en el Mediterráneo», Joaquín Arango, edita la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, Madrid, marzo, 1996 (gratuita).

● **RADIO AMATEUR Nº 155**
«Montarse el propio Transceptor: el gran desafío», Ricardo Llauradó, edita Boixareu Editores, Barcelona, noviembre, 1996 (515 ptas.).

● **LA CIENCIA ES COSA DE HOMBRES**
De Manuel Calvo Hernando, Colección Divulgadores Científicos Españoles, Celeste Ediciones, Madrid, 1996 (2.400 ptas.).

● **ASÍ SON LAS COSAS**
«De los orígenes al Cosmos; de la Evolución a la mente; del pasado al futuro», J. Brockman y K. Matson, Editorial Debate, Madrid, 1996 (2.900 ptas.).

● **HOMBRES EN EL ESPACIO**
«Pasado, presente y futuro», Luis Ruiz de Gopegui, Serie McGraw-Hill de Divulgación Científica, Madrid, 1996 (2.900 ptas.).

● **LO PEQUEÑO ES ESTÚPIDO**
«Una llamada de atención a los verdes», Wilfred Beckerman, Editorial Debate, Madrid, 1996 (2.900 ptas.).

● **EL ÁRBOL DEL CONOCIMIENTO**
«Las bases biológicas del conocimiento humano», H. Maturana y F. Varela, Editorial Debate, Madrid, 1996 (3.500 ptas.).

AGENDA

■ 13ª Exposición internacional medida-control-regulación-automatismos-ingeniería-informática-industrial.
Para más información:
Pomosalones.
Diego de León 44.
28006 Madrid.
Tel. (91) 564 31 54.
Fax (91) 411 66 99.
Del 2-6 diciembre.

■ II Jornadas nacionales de innovación en las enseñanzas de las ingenierías.
Para más información:
Universidad Politécnica de Madrid. (ICE) Instituto de Ciencias de la Educación.
Ciudad Universitaria.
28040 Madrid.
Tel. (91) 549 04 55.
Fax (91) 336 68 12.
Del 3-4 diciembre.

■ I Curso de Operaciones de Perforación y Producción en la industria petrolera.
Para más información:
Fundación Gómez-Pardo.
Depto. de Formación Permanente.
Alenza 1.
28003 Madrid.
Tel. (91) 441 79 21.
Fax (91) 442 95 29.
Del 9-13 diciembre.

■ 27 Congreso de la Asociación Catalana de Oftalmología.
Para más información:
Catalana de Congresos.
Sant Pere Mitjà 17.
08009 Barcelona.
Tel. (93) 319 09 55.
Fax (93) 319 18 53.
Del 12-14 diciembre.

■ IX Concurso sobre Medio Ambiente.
Para más información:
Obra Social y Cultural.
Plaza San Fernando 3.
40001 Segovia.
Tel. (921) 44 36 29.
Enero, 1997.

■ Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental.
Para más información:
Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial.
Tel. (91) 581 55 00.
Fax (91) 581 55 44.
Enero, 1997.

■ XXVI Curso intensivo sobre antibioticoterapia.
Para más información:
Ultramar Express.
Organización de Congresos.
Diputación 238, 3º.
08007 Barcelona.
Tels.(93) 482 71 40/482 71 58.
Del 20-31 enero, 1997.

■ Curso avanzado sobre «Valorización de productos lácteos de ovinos y caprinos en el área Mediterránea. Tecnologías actuales y perspectivas de mercado.
Para más información:
Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
Apdo. de Correos 202.
50080 Zaragoza.
Tel. (976) 57 60 13.
Fax (976) 57 63 77.
Correo electrónico:
iamz@ciheam.mizar.csic.es
Del 24 febrero-7 marzo, 1997.

■ Curso sobre la calidad en la comercialización de productos agroalimentarios.
Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
Apdo. de Correos 202.
50080 Zaragoza.
Tel. (976) 57 60 13.
Fax (976) 57 63 77.
Correo electrónico:
iamz@ciheam.mizar.csic.es
Del 10-21 marzo, 1997.

■ Congreso de la Sociedad Española de microbiología.
Para más información:
Ultramar Express.
Organización de Congresos.
Diputación 238, 3º.
08007 Barcelona.
Tels. (93) 482 71 40/482 71 58.
Del 15-18 abril, 1997.

■ Fourth International Symposium on Myelodysplastic Syndromes.
Para más información:
Ultramar Express.
Organización de Congresos.
Diputación 238, 3º.
08007 Barcelona.
Tels. (93) 482 71 40/482 71 58.
Del 24-27 abril, 1997.

■ Congreso nacional de la Sociedad Española de Cirugía Plástica y Reparadora y Estética.
Para más información:
Ultramar Express.
Organización de Congresos.
Diputación 238, 3º.
08007 Barcelona.
Tels. (93) 482 71 40/482 71 58.
Del 27-30 abril, 1997.

■ Desarrollo de nuevos productos en el sector agroalimentario.
Para más información:
Instituto agronómico mediterráneo de Zaragoza.
Apdo. de Correos 202.
50080 Zaragoza.
Tel. (976) 57 60 13.
Fax (976) 57 63 77.
Correo electrónico:
iamz@ciheam.mizar.csic.es
Del 5-16 mayo, 1997.

■ Medic Vietnam 97.
Feria Internacional de Medicina Humana, Odontología, Veterinaria.
Organizador: IMAG.
Hanoi, Vietnam.
Para más información:
Messe München.
D-800325 München.
Tel. (07/49 89)5107-0.
Fax (07/4989) 5107-506.
Octubre, 1997.

■ Baucon Asia 97
IV Salón Internacional de Materiales de Construcción, Servicios para Obras, elementos y Técnica de la Construcción.
Realización: MMG/OMAG, Singapur.
Para más información:
Messe München.
D-800325 München.
Tel (07/49 89)5107-0.
Fax (07/4989) 5107-506.
Del 8-11 octubre, 1997.



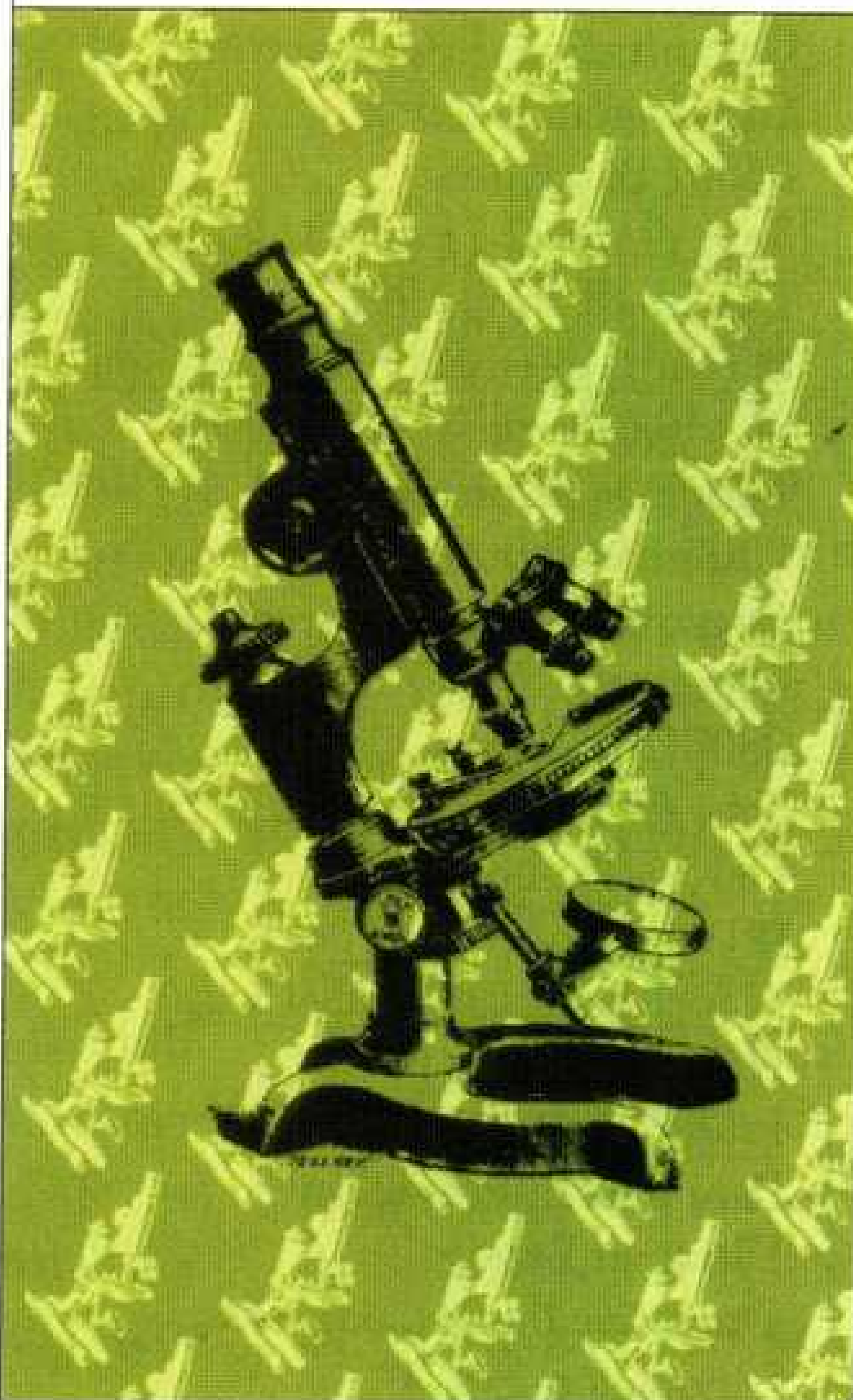
■ ROBÓTICA 97
8º Salón Internacional de la Automatización y Aseguramiento de la Calidad.
Para más información:
Feria de Zaragoza.
Carretera Nacional 2, km 311.
50012 Zaragoza.
Tel. (976) 53 44 20.
Fax (976) 33 06 49.
Del 19-22 noviembre, 1997.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA Y FUNDACIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA

• **Master en Educación Ambiental, programa de posgrado.**
Objetivos: formar personal altamente cualificado en el análisis de la problemática ambiental contemporánea y en el diseño, gestión y evaluación de programas de educación ambiental.
Directora: María Novo Villaverde, doctora en Filosofía y Ciencias de la Educación, y profesora de la UNED. El profesorado está formado por un total de 60 especialistas de los temas que se tratarán.
Contenido básico: los estudios se articulan en bloques temáticos divididos en módulos: enfoques básicos para la interpretación de la problemática ambiental; análisis interdisciplinar de la problemática ambiental; enfoque interniveles, de la problemática global a los problemas ambientales de carácter local, el desarrollo sostenible; los grandes problemas ambientales de la sociedad contemporánea; enfoques psicopedagógicos básicos para el tratamiento educativo de la problemática ambiental; diseño y desarrollo de programas de educación ambiental; fuentes y técnicas informáticas para el tratamiento de la información ambiental; comunicación y educación ambiental.
Duración y fechas: dos cursos académicos (18 meses lectivos), desde enero de 1997 hasta octubre de 1998. El curso representa un total de 60 créditos, equivalentes a 600 horas de trabajo.
Lugar: el curso se imparte a distancia, por lo que el alumno puede seguirlo desde su lugar de residencia; las sesiones presenciales se realizarán en Madrid.
Coste: 150.000 pesetas de matrícula, que se pagarán al formalizar la adscripción al programa; las tasas de docencia, consistentes en tres pagos de 150.000 pesetas cada uno, se abonarán a lo largo de los dos cursos académicos que dura el master. Estos pagos incluyen la entrega de una serie de monografías temáticas, elaboradas por el profesorado, sobre los diferentes temas que serán objeto de estudio.
Requisitos: titulación superior en ciencias experimentales, de la salud, sociales, humanas o ingenierías. Currículum académico y profesional.
Para más información:
Fundación Universidad-Empresa. Serrano Jover 5, 6 º. 28015 Madrid. Tels. (91) 541 71 32/541 72 65.
Fax (91) 541 72 94/547 06 52.
Correo electrónico: master.educamb@mad.servicom.es

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID Y FUNDACIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA

• **Gestión de red.**
Fechas: del 4 al 19 de diciembre de 1996.
• **Aplicaciones distribuidas interactivas.**
Fechas: del 4 al 19 de diciembre de 1996.
Para más información:
Fundación Universidad-Empresa.
Serrano Jover 5, 6.º.
28015 Madrid.
Tels. (91) 541 71 32/541 72 65.
Fax (91) 541 72 94/547 06 52.
Correo electrónico:
master.educamb@mad.servicom.es



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE DOCUMENTACIÓN E INFORMACIÓN CIENTÍFICA

• **Curso sobre publicaciones periódicas: industria, acceso y consumo.**
Dirigido a: profesionales de bibliotecas y centros de documentación implicados en la gestión de las colecciones de publicaciones periódicas.
Profesores: Cristina de la Peña (EBSCO), Elías Sanz (Universidad Carlos III), Miguel Jiménez (Cindoc), Pilar Llopart (Universidad de Barcelona) y Alice Keefer (DOC6).
Contenido básico: introducción: panorámica general de la industria internacional de las publicaciones periódicas; la edición de publicaciones periódicas, aspectos económicos; el impacto de la edición electrónica en la edición, distribución y acceso a la información científica; canales de distribución de las publicaciones periódicas, agencias de suscripciones y servicios de alerta y suministro de documentos; el investigador como autor y usuario de publicaciones científicas, calidad frente a cantidad; herramientas para la evaluación de contenido; la revista electrónica; el papel de Internet en la producción y acceso a la información científica; formatos normalizados para la integración electrónica de publicaciones periódicas; política de adquisición de publicaciones periódicas; tipología de las bases de datos de publicaciones periódicas; desarrollo de la colección de publicaciones periódicas; gestión automática de la colección de publicaciones periódicas.
Fechas: del 10 al 12 de diciembre de 1996, de 10 a 14 horas y de 17 a 20 horas, con un total de 20 horas lectivas.
Lugar: Santa Engracia 17, 3 º. 28010 Madrid.
Matrícula: socios: 45.000 pesetas; no socios: 55.000 pesetas.
Para más información:
Sociedad Española de Documentación e información Científica.
Santa Engracia 17, 3 ºººº.
28010 Madrid
Tel. (91) 593 40 59.
Fax (91) 593 41 28.

ESCUELA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

• **Master en ingeniería medioambiental: la gestión del agua.**
Duración: 900 horas, de enero a julio de 1997.
Para más información:
Tel. (91) 349 56 43. Preguntar por Miriam Espinosa.
• **Master en organización jurídica, económica y social del medio ambiente.**
Duración: 500 horas, de enero a julio de 1997.
Para más información:
Tel. (91) 349 56 76. Preguntar por Ascensión Vázquez.
• **Curso sobre proceso de tratamientos de aguas residuales industriales.**
Duración: 200 horas, de febrero a julio de 1997.
Para más información:
Tel. (91) 349 56 86. Preguntar por Juana González.

FUNDACIÓN MAPFRE ESTUDIOS

• **Curso de especialización en prevención de riesgos patrimoniales.**
Fechas: de febrero a abril de 1997.
Lugar: El Plantío (Madrid).
• **Curso de especialización en prevención de riesgos contra el medio ambiente.**
Fechas: abril y mayo de 1997.
Lugar: El Plantío (Madrid).
Para más información:
Fundación Mapfre Estudios.
Mercedes Sanz.
Carretera del Plantío s/n.
28023 Madrid.
Tels. (91) 581 23 46/53.
Fax (91) 307 66 42.

UNIVERSITAT DE BARCELONA

• **XXVI Curso de Medicina Tropical.**
Dirigido a: licenciados y diplomados universitarios relacionados con las ciencias de la salud que deseen trabajar en el trópico. La realización de este curso da opción a la selección para el European Master in International Health.
Objetivos y características: formación básica frente a los problemas más frecuentes en patología tropical, con capacitación en aspectos de salud pública y organización de un área sanitaria, completando la formación para la recepción de patología importada en países no tropicales.
El área de medicina incluye un amplio programa de enfermedades infecciosas, medicina interna y dermatología; el área de microbiología y parasitología abarca el estudio de microorganismos y parásitos de importancia en patología tropical; el área materno-infantil comprende temas de pediatría, ginecología y obstetricia desde un punto de vista tropicalista; el área de salud pública incluye temas de estadística, epidemiología, salud comunitaria y organización sanitaria.
Las sesiones prácticas consisten en seminarios clínicos, un trabajo de campo y prácticas de laboratorio.
Duración: 366 horas, repartidas en 253 teóricas y 113 de seminarios clínicos y prácticas de laboratorio. Las clases son de mañana y tarde y la asistencia al curso es obligatoria, por lo que exige dedicación exclusiva.
Matrícula: 290.000 pesetas.
La preinscripción se formalizará antes del 31 de enero de 1997.
• **V Curso de Medicina y Parasitología Tropicales.**
Dirigido a: licenciados y diplomados universitarios relacionados con las ciencias de la salud, interesados en la asistencia de patología importada. Profesionales de servicios

hospitalarios de medicina interna, enfermedades infecciosas y microbiología, y personal encuadrado en clínicas de consejo al viajero y vacunaciones.
Objetivos y características: el curso comprende un amplio programa de temas de enfermedades infecciosas y medicina interna, así como el estudio de microorganismos y parásitos de importancia en patología tropical. Las sesiones prácticas consisten en seminarios clínicos y prácticas de laboratorio.
Duración: 164 horas, repartidas en 100 teóricas y 64 de seminarios clínicos y prácticas de laboratorio. Las clases son de mañana y tarde y la asistencia al curso es obligatoria, por lo que exige dedicación exclusiva.
Matrícula: 150.000 pesetas. La preinscripción se formalizará antes del 31 de enero de 1997.
Para más información:
Medicus Mundi Cataluña.
Elisa 14.
08023 Barcelona.
Tel. (93) 418 47 62 (Lidia Tello, martes y viernes de 9.30 a 12.30).
Fax (93) 418 48 66.

CENTRO INTERNACIONAL DE ALTOS ESTUDIOS AGRONÓMICOS MEDITERRÁNEOS

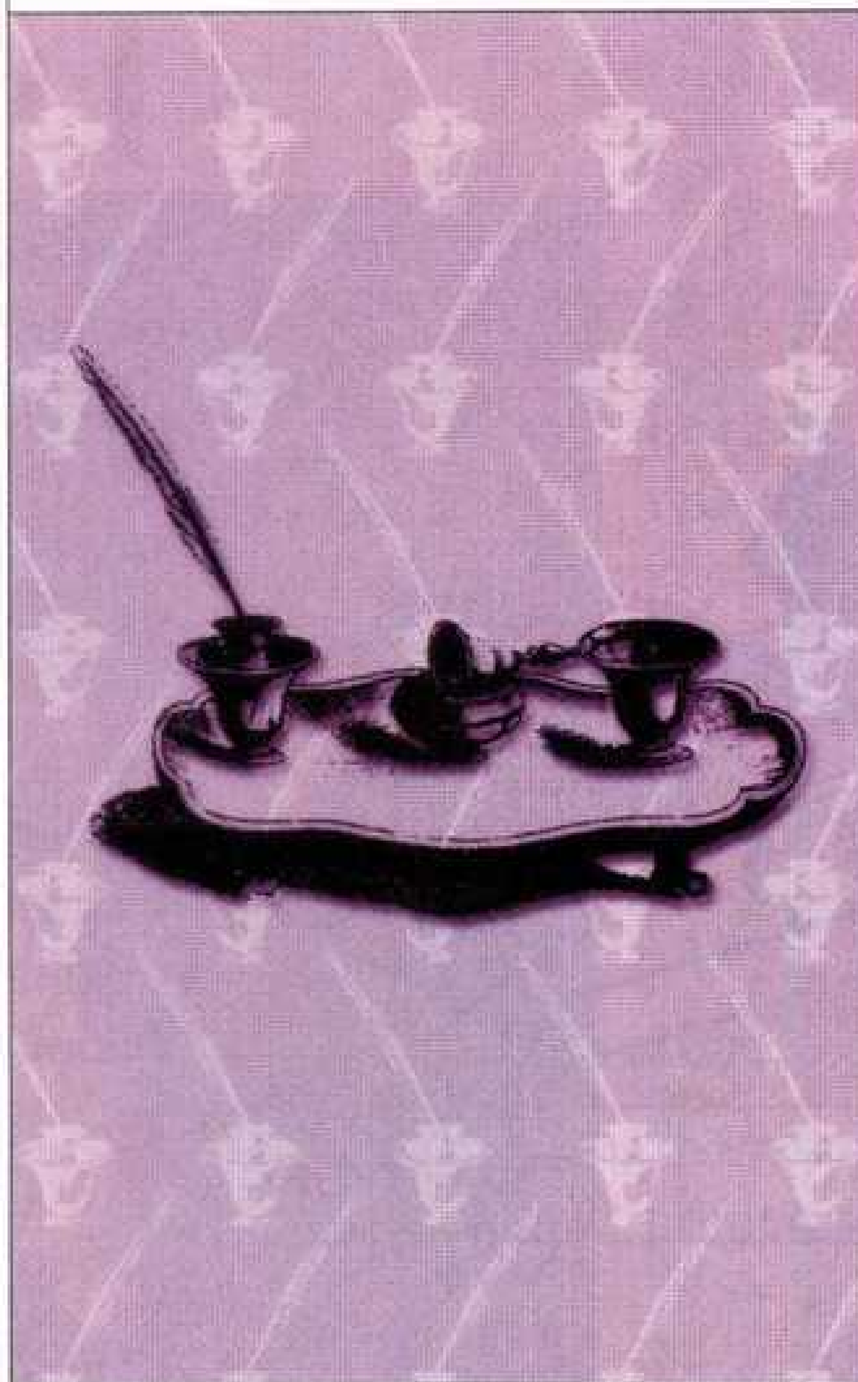
• **Cursillo práctico Fish Health Management.**
Requisitos: graduados universitarios, preferentemente jóvenes jefes u otros profesionales involucrados en proyectos de piscicultura. El curso se impartirá en inglés, por los que los candidatos deben tener un buen conocimiento de esta lengua.
Fechas: del 27 de enero al 7 de febrero de 1997, en horario de mañana y tarde.
Matrícula: hasta el 15 de diciembre; el coste es de 600 dólares estadounidenses.
Lugar: Instituto Zooprofilattico Sperimentale delle Venezie, en Udine, Italia.
Para más información:
Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
Apdo. de Correos 202.
50080 Zaragoza.
Tel. (976) 57 60 13.
Fax (976) 57 63 77.
Correo electrónico: iamz@ciheam.mizar.csic.es

FUNDACIÓN JUAN ESPLUGES

• **Becas del programa de formación farmacológica.**
Dotación: 2.000.000 de pesetas.
Requisitos: posgraduados menores de 35 años, con experiencia mínima de un año en farmacología experimental o clínica.
Plazo: hasta el 1 de marzo de 1997.
Para más información:
Fundación Juan Espluges.
Facultad de Medicina y Odontología.
Avda. Blasco Ibáñez 15.
46010 Valencia.

COMISIÓN DE LA COMUNIDAD EUROPEA

• **Becas de colaboración con países del Este europeo para intercambios científicos y académicos, individuales y colectivos.**



Dotación: variable.
Plazo: hasta el 31 de diciembre de 1997.
Para más información:
Tempus-Office 14.
Rue de Montonyer.
B-1040 Bruselas. Bélgica.
Tel. (322) 504 07 11.
Fax (322) 504 07 00.
WWW: http://europa.eu.int

GONVILLE AND CAIUS COLLEGE-UNIVERSIDAD DE CAMBRIDGE

• **Becas de investigación predoctoral en el campo del Derecho en el Gonville and Caius College.**
Requisitos: licenciados menores de 30 años.
Dotación: gastos académicos y de residencia.
Plazo: hasta el 1 de diciembre de 1997.
Para más información:
University of Cambridge-Gonville and Caius College.
Admissions Tutor.
Cambridge, CB2 1TA.
Gran Bretaña.
Tel. (44) (223) 33 24 40.
Fax (44) (223) 33 24 56.

CANADIAN INSTITUTE FOR ADVANCED LEGAL STUDIES

• **Becas de estudio sobre Derecho en la Universidad de Cambridge.**
Dotación: 13.000 dólares canadienses.
Plazo: hasta el 31 de diciembre de 1997.
Para más información:
Canadian Institute for Advenced Legal Studies.
Suite 203, 4 Beechwood Avenue.
Otawa. Ontario K1L 8L9. Canadá.
Tel. (01) (613) 744 61 66.
Fax (01) (613) 744 57 66.

FOUNDATION FOR RESEARCH DEVELOPMENT. SCIENCE LIAISON

• **Becas de estudio en universidades y centros de investigación de la República de Sudáfrica, en temas de ciencias tecnológicas, ingeniería y ciencias biológicas y médicas.**
Dotación: viaje y alojamiento.
Plazo: hasta el 31 de diciembre de 1997.
Para más información:
Foundation for Research Development. Science Liaison.
PO Box 2600.
Pretoria 0001. República de Sudáfrica.
Tel. (2712) 841 36 36.
Fax (2712) 841 36 88.

BURROUGHS WELLCOME FUNDATION

• **Becas de investigación sobre la epilepsia.**
Dotación: 30.000 dólares estadounidenses.
Plazo: hasta el 31 de diciembre de 1997.
Para más información:
Burroughs Wellcome Fundation.
Creekstone Drive, suite 100.
Morrisville, NC 27560-9771.
EE.UU.

ENGINEERING AND PHYSICAL SCIENCE RESEARCH COUNCIL

• **Becas posdoctorales de investigación en el campo de la ingeniería, física, química y matemáticas en cualquiera de las universidades de Gran Bretaña aceptadas por el Council.**
Plazo: hasta el 30 de noviembre de 1997.
Para más información:
Engineering and Physical Science Research Council.
Fellowship Section.
Polaris House. North Star Avenue.
Swidon, SN2 1ET. Gran Bretaña.
Tels. (44793) 41 11 72/41 14 03.

MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES

• **Becas para realizar estudios de lengua y cultura neerlandesas en Breukelen (Países Bajos) durante el verano de 1997.**
Cuantía de la beca: manutención, alojamiento, libros, 100 florines, matrícula, seguro médico y 70.000 pesetas en concepto de bolsa de viaje.
Plazo: 2 de diciembre de 1996.

• **Becas para ampliar estudios en Dinamarca en el curso 97-98.**
Cuantía de la beca: entre 4.260 y 4.850 coronas al mes, más alojamiento y manutención, y 70.000 pesetas en concepto de bolsa de viaje.
Plazo: hasta el 9 de diciembre de 1996.

• **Becas para ampliar estudios de lengua y cultura danesa en Dinamarca en el verano de 1997.**
Cuantía de la beca: matrícula gratuita, alojamiento y manutención y 70.000 pesetas en concepto de bolsa de viaje.
Plazo: 9 de diciembre de 1996.

• **Becas de estudio en la Universidad de Oslo (Noruega) durante el verano de 1997.**
Cuantía de la beca: matrícula, alojamiento, manutención y 80.000 pesetas en concepto de bolsa de viaje.
Plazo: 9 de diciembre de 1996.

• **Becas para ampliar estudios en Finlandia en el curso 97-98.**
Cuantía de la beca: 4.000 MF al mes, entre 500 y 1.000 MF para tasas académicas y 100.000 pesetas en concepto de bolsa de viaje.
Plazo: hasta el 9 de diciembre de 1996.

• **Becas para ampliar estudios de lengua y cultura finlandesa en Finlandia en el verano de 1997.**
Cuantía de la beca: matrícula gratuita, alojamiento y manutención en una residencia universitaria y 100.000 pesetas en concepto de bolsa de viaje.
Plazo: 9 de diciembre de 1996.

• **Becas de ampliación de estudios o investigación en universidades bávaras (Alemania) durante el curso 97-98.**
Cuantía de la beca: 850 marcos al mes, posibilidad de matrícula gratuita y 60.000 pesetas en concepto de bolsa de viaje.
Plazo: 14 de marzo de 1997.

• **Beca Cela para ampliar estudios de ciencias tecnológicas e informática en la Universidad Técnica de Dresde (Alemania) durante el curso 97-98.**
Cuantía de la beca: 800 marcos al mes y 60.000 pesetas en concepto de bolsa de viaje.
Plazo: 4 de abril de 1997.
Para más información:
Ministerio de Asuntos Exteriores.
Del Salvador 1. 28071 Madrid.
Tel. (91) 441 90 44, ext. 104/157.

BUSCAR, JUGAR, ENCONTRAR

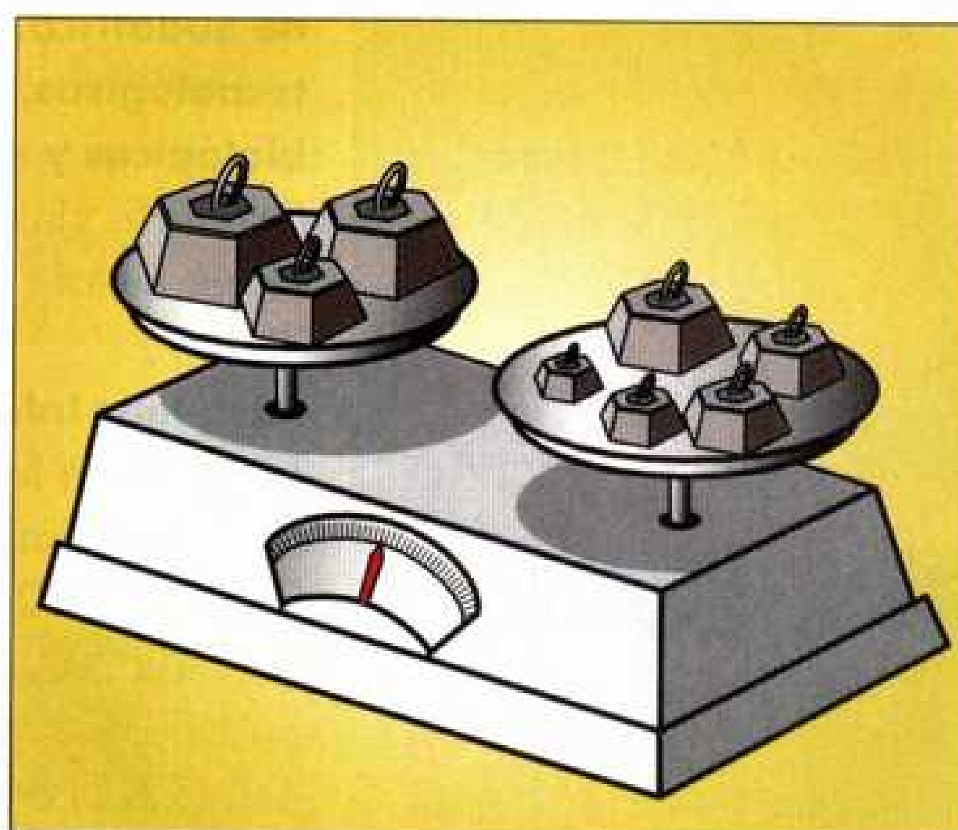
Elisabeth Busser y
Gilles Cohen

JUEGOS DE BALANZAS

1

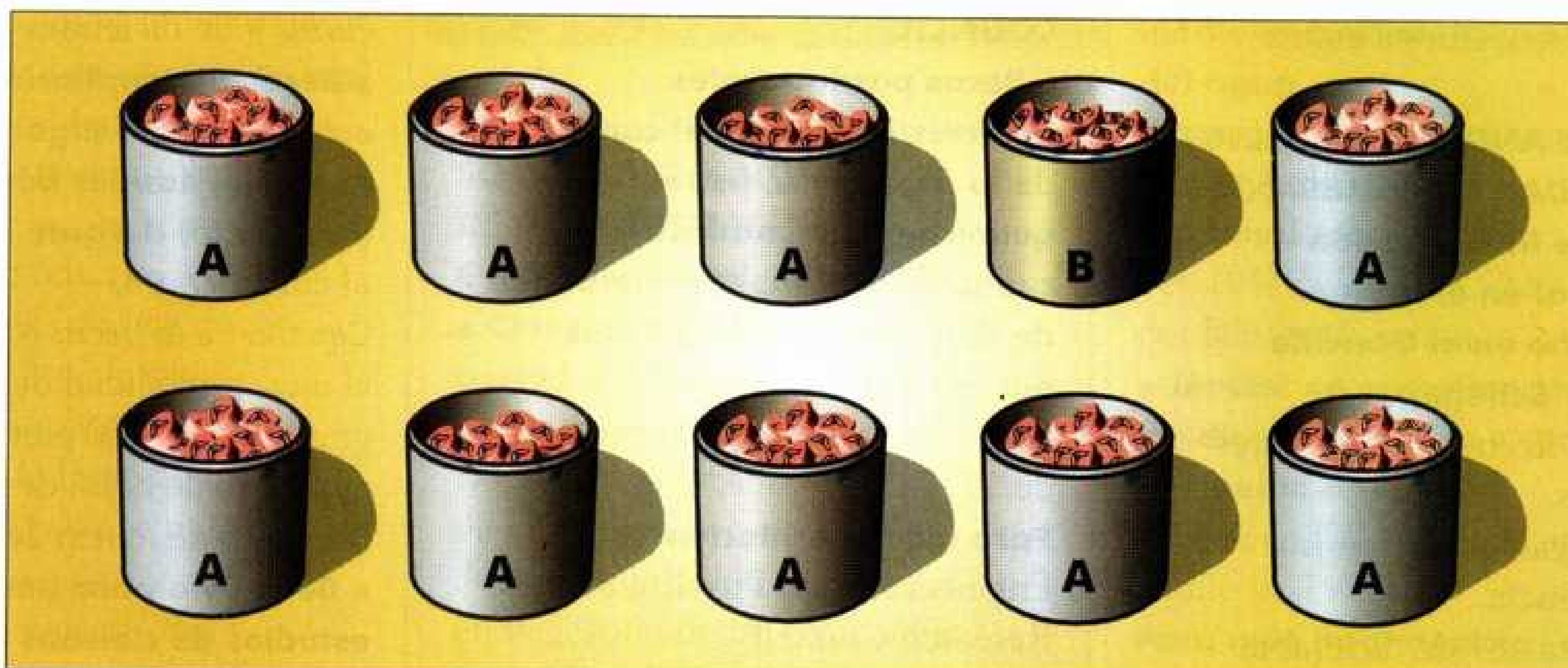
A Las ocho pesas

Un tendero posee una balanza de dos platillos y ocho pesas. Afirma que con ocho pesas puede pesar exactamente todos los artículos que tengan un número entero de gramos comprendido entre 1 y un máximo N igual a la suma de las pesas. Añade incluso que N es el mayor valor que se puede obtener con ocho pesas de tal modo que se puedan conseguir todos los valores enteros precedentes.
¿Cuánto vale N? ¿Cuánto las ocho pesas?



B Alarma en el laboratorio

En un estante de un laboratorio hay 10 botellas idénticas supuestamente llenas de comprimidos de un producto A. Cada comprimido de A pesa 1 gramo.
De pronto, uno de los biólogos exclama inquieto:
—Una de las botellas contiene comprimidos B y éstos son indiscernibles de los comprimidos A»
—No te inquietes, los comprimidos B son más ligeros, pesan sólo 0,9 g —le tranquiliza un colega.
¿Cómo, mediante una sola pesada con la balanza de precisión del laboratorio (que posee dos platillos y pesas en número suficiente hasta el decigramo), ha logrado este último determinar la botella que contiene los comprimidos B?



C Expulsar al intruso

Algo más tarde, el mismo biólogo se lamenta:
—Entre estos cincuenta y cinco comprimidos, hay uno más ligero que los demás. Pero, ¿cuál?
Su colega vuelve a tranquilizarlo, ya que logra determinar el comprimido ligero en cuatro pesadas de la balanza de dos platillos, sin utilizar siquiera pesas.
¿Cómo lo ha hecho?

D Los X y los Y

Decididamente, nuestro biólogo no tiene suerte. Esta vez, los seis comprimidos que tiene ante sí son de dos tipos, los X (más pesados) y los Y (más ligeros), pero ignora cuántos son de cada tipo y cuáles. Una vez más, su colega lo saca de apuros. Mediante cuatro pesadas con la balanza de dos platillos, consigue averiguar cuáles son los comprimidos de tipo X y cuáles los de tipo Y.
¿Cómo lo ha hecho?

E ¿Más pesado o más ligero?

El biólogo no tiene el día. Ahora contempla nueve comprimidos, supuestamente del producto X. Pero entre ellos se ha colado un comprimido del producto Y (más ligero que X) o del producto Z (más pesado que X). El biólogo dispone de una balanza de dos platillos (sin pesas).
¿Cómo es posible, en tres pesadas, desenmascarar al intruso y averiguar su identidad?

F Expedición geológica

Un equipo de geólogos parte de expedición. Los científicos llevan consigo 80 contenedores con provisiones numerados del 1 al 80. Se establece una lista de los pesos de dichos contenedores, que resultan ser iguales a números enteros de gramos, todos distintos.
Al cabo de unas semanas, las inscripciones que figuran en los contenedores se han vuelto ilegibles.
El cocinero del equipo reconstruye las inscripciones. El matemático del grupo quiere verificar los cálculos del cocinero. Dispone de una balanza de dos platillos y de pesas en número suficiente.
Demostrar que, con la lista establecida al comienzo, el matemático podrá llevar a cabo esta verificación en sólo cuatro pesadas.

2 LAS INVESTIGACIONES DE CARL FRIEDRICH GAUSS (1777-1854)

Abel llamó a Gauss «zorro de las matemáticas» porque, según él, «este animal borra con la cola las huellas que deja en la arena». Gauss, que con los años se convirtió en especialista en camuflar sus demostraciones, no sólo fue un genio precoz sino también un matemático omnisciente. Fue a la teoría de números lo que Euclides a la geometría. Dio la interpretación geométrica de los números complejos actualmente conocida, desarrolló técnicas muy precisas para calcular las órbitas de los astros, inventó aparatos de medidas geodésicas y medidas magnéticas e ideó incluso la primera telegrafía eléctrica. La fama de Gauss es inmensa, ya que desde pequeño se ocupó de todas las áreas que las matemáticas permiten explorar.



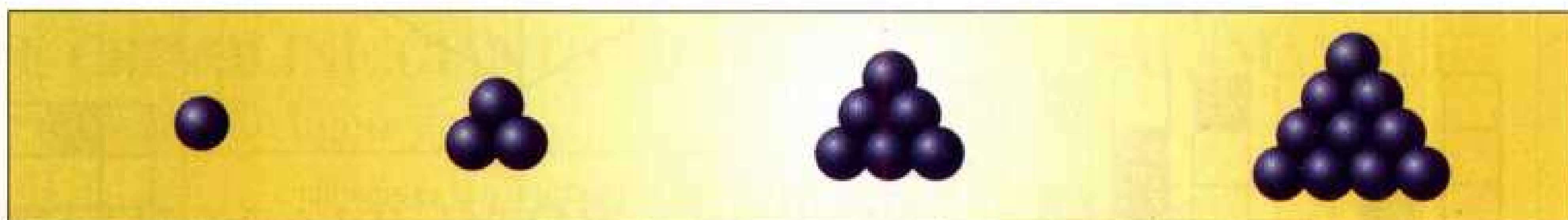
(Cliché AKG photo)

A El razonamiento del niño prodigio

Se decía de él que supo contar antes de hablar. No es de extrañar que a los 8 años, en la escuela primaria, dejara a su maestro boquiabierto. «Calculad —preguntaba éste— la suma 1 + 2 + 3 + ... + 100». Los demás, mecánicamente, iban haciendo una suma tras otra. Gauss, en cambio, sacó imediatamente su pizarra, donde acababa de escribir la respuesta correcta: 5.050. «¿De dónde lo has sacado?» —preguntó su maestro, alucinado—. «Pues... 101 × 50».
¿Qué idea, simple pero genial, guió su cálculo?

B «¡Eureka! num = Δ + Δ + Δ»

Los números triangulares constituyen uno de los temas favoritos de los aficionados a los juegos matemáticos. Para obtenerlos, haced como si apilarais bolitas:



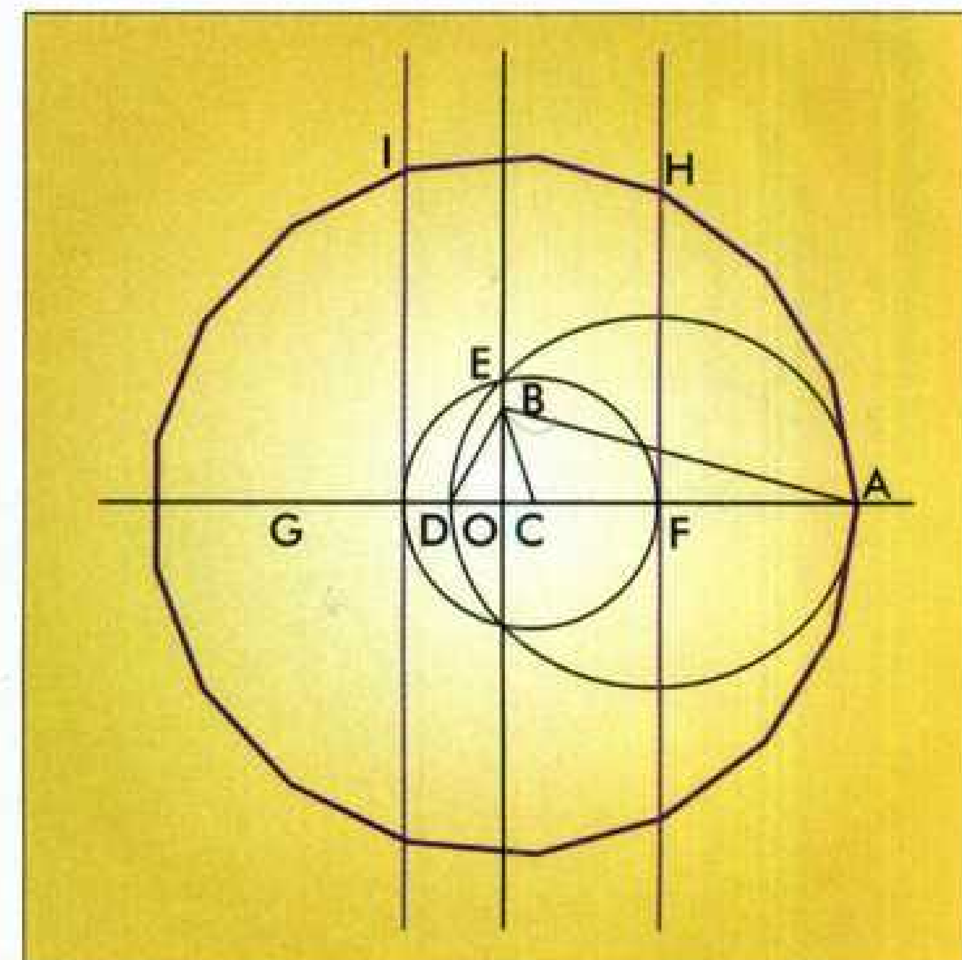
Se encuentran las sumas de los primeros enteros:
T1 = 1; T2 = 3; T3 = 6;
T4 = 10; ...
Sin duda habréis demostrado, a la manera de Gauss, que Tn = n (n +1)/2. Nuestro «príncipe de las matemáticas», como se empezó a llamarle más tarde, se interesó tanto por los números triangulares que llegó a anotar en su diario, con fecha del 10 de julio de 1796: «¡Eureka! num = Δ + Δ + Δ». Acababa de demostrar que todo número entero positivo es igual a la suma de tres números triangulares: ***¿Sabríais descomponer 1996 en suma de tres números triangulares? ¿Es única esta descomposición?***

C La receta del polígono regular de 17 lados

Los griegos sabían construir un pentágono regular con regla y compás pero no habían conseguido ir más allá. Hubo que esperar 2.000 años para que Gauss descubriera la construcción del polígono regular de 17 lados. He aquí la receta, que Gauss inventó a los 18 años y que Richmond hizo pública en 1893:

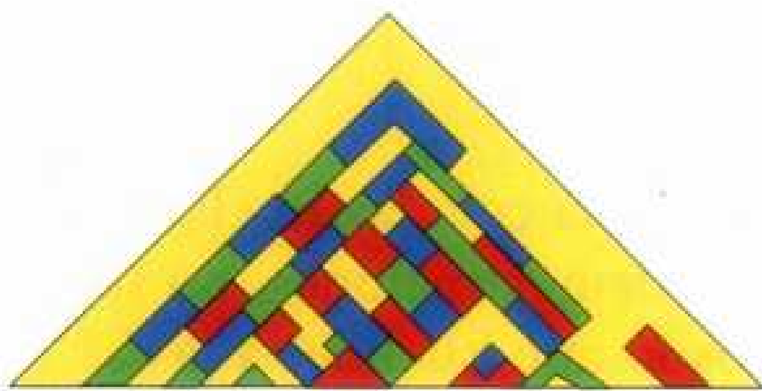
- Sobre una circunferencia (G) de radio unidad, marcar un punto A. Será el primer vértice del polígono.
- En la perpendicular a (OA) por O tomar B tal que OB = OA/4.
- Tomar C en el segmento [OA] de tal manera que <$\widehat{OBC}$> = 1/4 <$\widehat{OBA}$>.
- Tomar D en (OA), exterior al segmento, de tal modo que <$\widehat{CBD}$> = π/4.
- La circunferencia de diámetro [AD] corta (OB) en E.
- La circunferencia de centro C y radio CE corta (OA) en F (sobre [OA]) y G.
- Trazar por F y G las perpendiculares a (OA), que cortan la circunferencia (G) respectivamente en H e I.

H es el tercer vértice del polígono regular de 17 lados e I el quinto. Se puede entonces reconstruir el polígono entero. ¿Milagroso? No... Gauss, mediante algunos trucos de cálculo que sólo él conocía, dio una justificación rigurosa a la construcción.



SOLUCIONES A LOS JUEGOS DEL NÚMERO 173

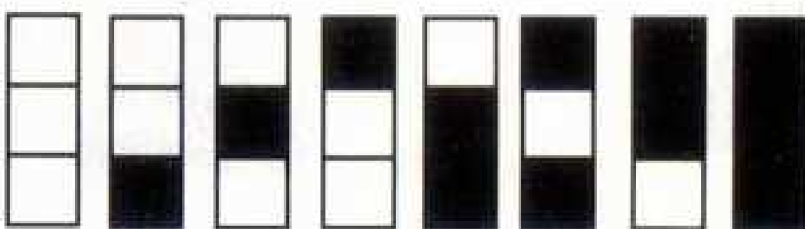
1 A.
Una de las posibles maneras de



colorear el mapa es la siguiente:
La demostración del teorema de los dos colores utiliza una recurrencia:

- Si no hay más que una recta ($n = 1$), no hay más que dos países, uno rojo y el otro azul.
- Supongamos que para n rectas se pueda colorear el mapa con sólo dos colores, el rojo y el azul.
- Añadamos una ($n + 1$)-ésima recta. Ésta cortará el mapa en dos partes P y Q. Dejemos tal cual los colores de P, por ejemplo, y modifiquemos los de Q, cambiando de rojo a azul y de azul a rojo. Se comprueba entonces que el mapa está perfectamente coloreado.

1 B.

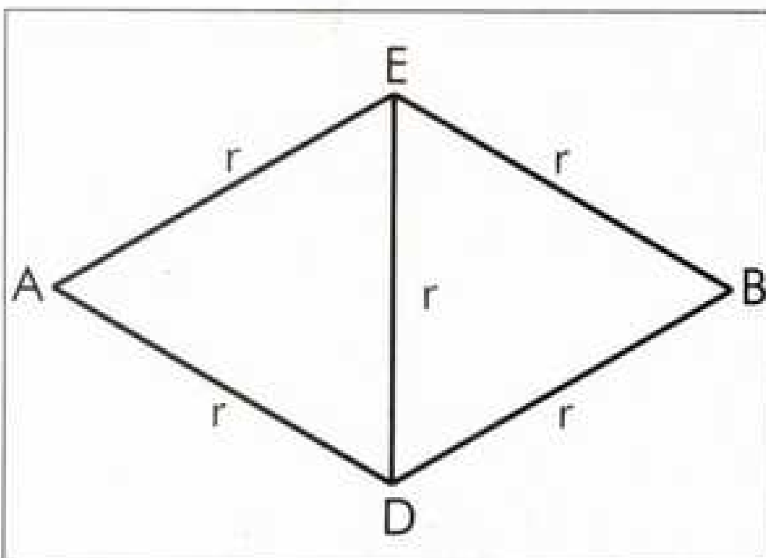


Se divide el damero en columnas. Pueden presentarse ocho casos:

- Si el damero inicial tiene dos columnas idénticas, la respuesta es obvia.
- Si las 7 columnas son distintas, una de las ocho anteriores queda excluida. Si es la (1) o la (4), se obtiene el rectángulo buscado con las columnas (5) y (8). Si es otra, el rectángulo se obtiene con las columnas (1) y (4). Por lo tanto, se encuentra siempre un rectángulo con las 4 esquinas del mismo color.

1 C.
Prudencia quiere encontrar dos puntos del mismo color a una distancia mutua r. A tal fin, traza una circunferencia de centro A y radio $r\sqrt{3}$. Supondremos que el punto es amarillo.

- Si (C) no contiene más que puntos amarillos, dos de ellos distarán r y la apuesta se habrá ganado.
- Si (C) contiene un punto B de otro color, por ejemplo verde, se construyen los dos triángulos equiláteros AED y BED, de lados iguales a r.



– Si uno de los puntos E o D es amarillo o verde, la apuesta se habrá ganado.
– Si todos son rojos, también se habrá ganado.
Por tanto, hay siempre dos puntos del mismo color a una distancia r previamente fijada.

1 D.
Se razona sobre los 5 segmentos que parten de un mismo punto A.

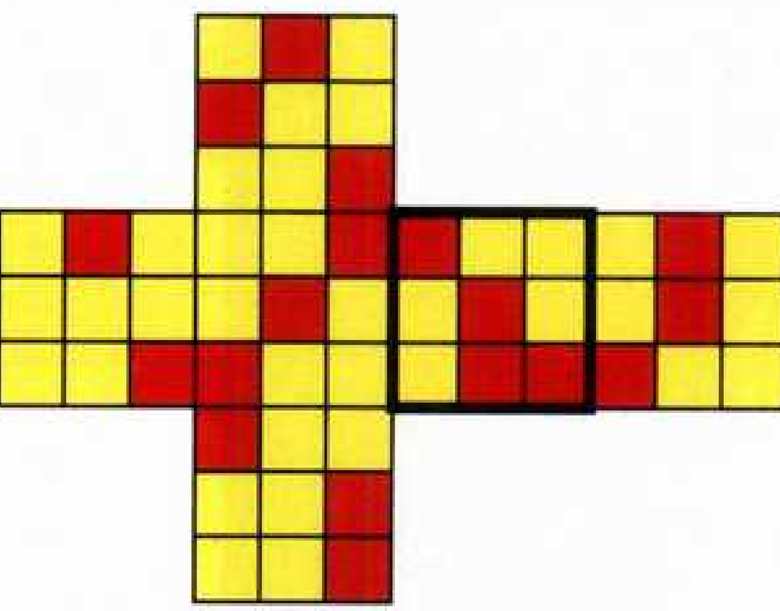
- Si hay al menos cuatro segmentos azules (AB, AC, AD, AE) se razona sobre el número de segmentos azules que hay en el conjunto de los 6 segmentos restantes que unen los puntos B, C, D y E.
- 0: no hay ningún triángulo monocromático azul, pero hay no menos de 4 triángulos rojos
- 1, BC: el triángulo ABC es azul y los triángulos BDE y CDE son rojos
- 2: hay por lo menos dos triángulos azules

* Si hay tres segmentos azules (AB, AC, AD) y dos rojos (AE, AF), sólo son problemáticos los casos en que BC y BD son rojos, mientras que EF es azul. La discusión, más larga, se hace a partir de dos subcasos en que se impone un triángulo monocromático:

- CD azul
- CD rojo

En cada uno de estos casos, se advierte la existencia de un segundo triángulo monocromático.

1 E.



Se puede reconstruir el patrón del cubo dibujado bajo tres aspectos. Queda una sola posibilidad para la cara que contiene los cuatro cubos rojos. En consecuencia, de los 26 cubos visibles, 17 son amarillos y 9 rojos. El cubo central, por lo tanto, es rojo.

1 F.
Se observa que dos inversiones de una misma hilera se neutralizan y que el orden de las inversiones es indiferente. Entonces, salvo reordenación de las hileras, se puede suponer que se ha dado la vuelta a las F primeras filas (de las 100 existentes) y a las C primeras columnas (de las 50 existentes). El número de fichas rojas es de $(50 - C) + C\,(100 - F)$ porque el rectángulo de arriba a la izquierda está formado por fichas invertidas dos veces, y por lo tanto negras. Queda por resolver la ecuación en números naturales
$50\,F + 100\,C - 2\,CF = 1996$,
la cual, escribiendo
$C = 25 + X$ y $F = 50 + Y$,
se transforma en
$XY = 252$,
donde X es un entero comprendido entre -25 y $+25$ e Y es un entero comprendido entre -50 y $+50$. Entre los 16 pares (X,Y) posibles, el que minimiza el número de inversiones corresponde a $X = -6$ e $Y = -42$, es decir, a $C = 19$ y $F = 8$ (27 inversiones).

N.B.
En respuesta al juego nº 1 del número 172, indiquemos dos soluciones suplementarias encontradas por M. Duban:
1) 1,2; 1,25; 1,5; 3,16
2) 1,185; 1,2; 1,6; 3,125

MUNDO CIENTIFICO LA RECHERCHE

CONTENTS Nº 174 DECEMBER 1996

Para una información adicional

MUNDO CIENTÍFICO

CINDOC (CSIC)

• El Instituto de Información y Documentación en Ciencia y Tecnología (CINDOC) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y **Mundo Científico** ofrece a los lectores interesados información bibliográfica complementaria de determinados artículos publicados en el número de **Mundo Científico.**

• Estas bibliografías (sólo en inglés) se obtienen mediante la exploración de las bases de datos bibliográficas adecuadas accesibles desde el **CINDOC,** y se encuentran a disposición del interesado en el **CINDOC** al precio de 4.000 ptas.

Descuento del 50 % a los suscriptores de **Mundo Científico** (2.000 ptas.).

El **CINDOC** dispone de un servicio de consultas bibliográficas, que proporciona referencias en inglés, en la mayor parte de los casos, sobre una gran variedad de temas, pertenecientes a los campos de las Ciencias aplicadas, la Tecnología, las Ciencias Sociales y las Humanidades, mediante la conexión con diversos distribuidores de Bases de Datos nacionales e internacionales.

CINDOC - Consultas Bibliográficas
Joaquín Costa 22
28002 Madrid
Télex: 22628 CIDMD/E
Teléfono: (91) 563 54 82
Fax: (91) 564 26 44
Adelrey @ cc.csic.es

















MUNDO CIENTIFICO

• **ASESOR CIENTÍFICO**
Jaume Josa

• **COMITÉ DE REDACCIÓN**
Mercé Durfort
Ignacio Bravo

• **REDACCIÓN Y COORDINACIÓN**
Ofelia Favarón

• **REVISIÓN LINGÜÍSTICA**
Mª Vinyet Carmona Modolell

• **DISEÑO GRÁFICO**
Cristina Sabaté
Dolors Cabecerán

LA RECHERCHE

• **DIRECTOR GENERAL**
Stéphane Khémis

• **REDACTOR JEFE**
Olivier Postel-Vinay

• **COMITÉ CIENTÍFICO**
Marc Augé • Claude Cohen-Tannoudji
Vincent Courtillot • Antoine Danchin
Jean-Gabriel Ganascia • Elisabeth Giacobino
• Marc Jeannerod • Jean-Claude Lehmann
Jean-Marie Lehn • Claude Lorius
Luc Montagnier • Alain Omont

• **ASESORAMIENTO Y TRADUCCIÓN**
¿El Universo en una probeta?: *Amadeu Montoto*; Las puertas de entrada del virus del sida; ¿Una vacuna contra la shigelosis?; Los tesoros de la piel de las ranas; Novedades sobre el origen de las especies: *Jaume Garaldà*; Un gigante con miriñaque; Ultrasonidos y los espejos acústicos; La automatización del cálculo simbólico; Ciencia básica: El teléfono; Juegos: *Joan Pericay*.

EDITA
RBA Revistas S.A.
Pérez Galdós 36
08012 Barcelona (España)
Tel. (93) 415 73 74* Fax (93) 217 73 78

Coordinadora Editorial
Montserrat Mulero

Directora Comercial
Ariadna Hernández

Directora de Publicidad
Marta Bellés
Publicidad
Elena Ruvireta
Príncipe de Asturias 66
08012 Barcelona
Tel. (93) 415 23 22
Fax (93) 238 07 30

SUSCRIPCIONES
Servicio de Atención al Cliente
Pérez Galdós 36
08012 Barcelona (España)
Tel. (93) 415 40 50
Fax (93) 416 00 89
Horario: de 9 a 14 y de 15 a 18 h
(de lunes a viernes)
Resp. Dpto.: Isabel Albareda

PROMOCIÓN SUSCRIPCIONES
Jefes de zona
Amparo Álvarez Iranzo
Distribución: **Marco Ibérica, S.A.**
Fotomecánica: FOINSA
Impresión-encuadernación: ROTOCAYFO, S.A.
Sta. Perpetua de Mogoda. Barcelona.
B.10.896-81/©Para la lengua española Editorial Fontalba, S.A. 1981
Impreso en España-Printed in Spain

El precio para Canarias, el mismo de la portada incluida sobretasa aérea.

MUNDO CIENTIFICO

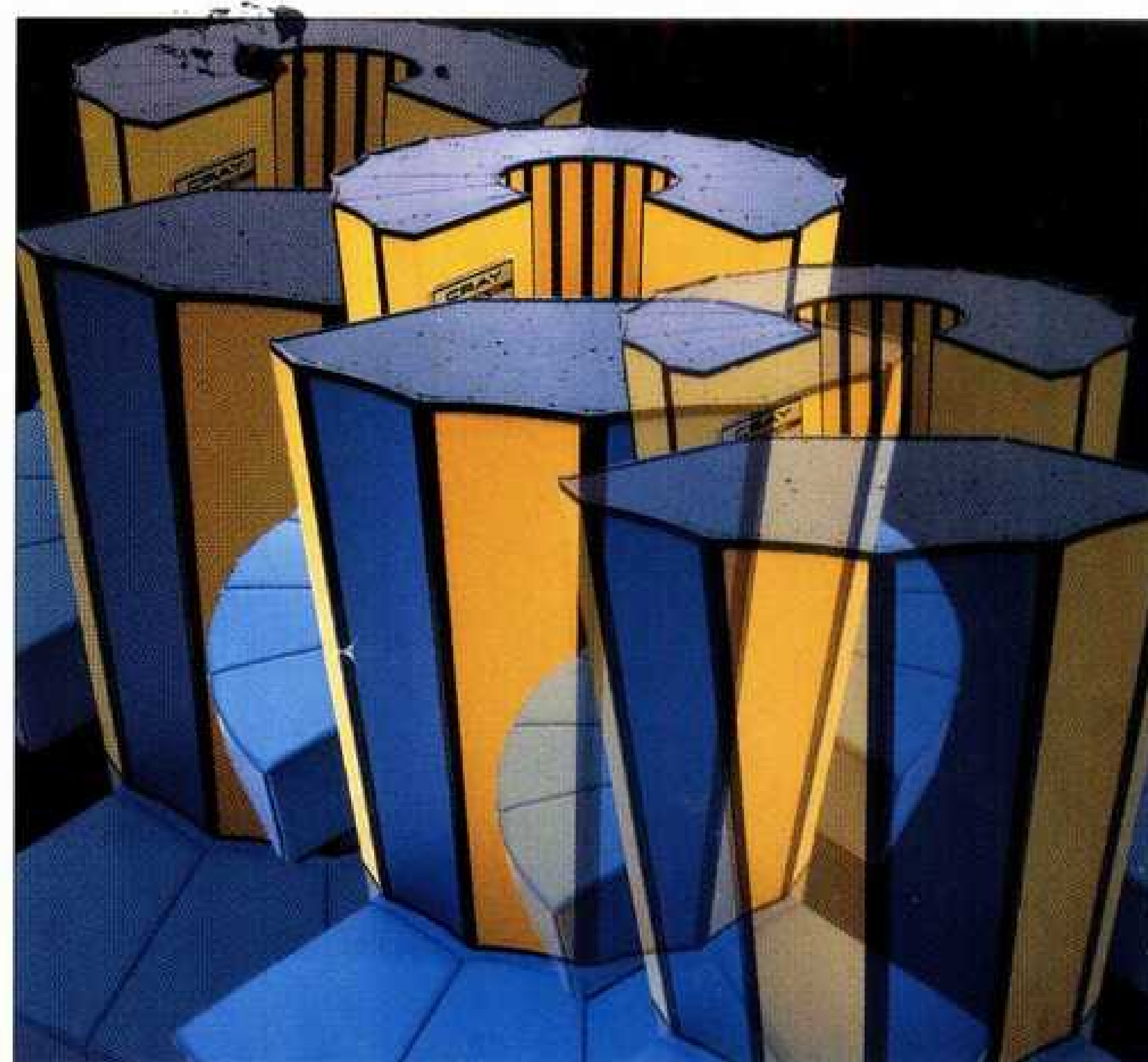
AVANCE PRÓXIMO NÚMERO



LAS INCERTIDUMBRES DE LA ERA POSTAMIANTO

por Sylvie Gruszow

Toxicólogos y epidemiólogos tratan la inocuidad de los materiales de sustitución del amianto.



EL ORDENADOR BAJO EL ENCANTO CUÁNTICO

por Adriano Barenco, Artur Ekert, Chiara Macchiavello y Anna Sanpera

Puntos de vista cruzados de informáticos y físicos sobre las perspectivas de este nuevo medio de cálculo.



LAS COSMOLOGÍAS DE LOS INDIOS DE AMAZONIA.

por Philippe Descola

Para los indios, la naturaleza es una construcción social.



INTERFEROMETRÍA ÓPTICA: SOMBRAS Y LUCES EN EL UNIVERSO

por Sacha Loiseau y Guy Perrin

Del célebre experimento de Thomas Young a los ambiciosos proyectos del próximo siglo.

...Y ADEMÁS

LOS INSTRUMENTOS DE LOS HOMÍNIDOS por E. Carbonell, A. Ollé, X.P. Rodríguez, R. Sala y J.Mª Vergés

LA INVENCIÓN DE LA RUEDA MOLECULAR por Claire Serain y Jochen Meyer

CONSTRUIR EL ESQUELETO DE LAS CÉLULAS por Erik Karsenti e Isabelle Vernos

¿ES POSIBLE ERRADICAR LA COREA DE HUNTINGTON? por Gérard Lucotte y Jean-Claude Turpin

JAPÓN APUESTA POR LA INVESTIGACIÓN DE BASE por Yoshico Okubo